

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ALTERNATIVA ESTRUCTURAL - CONSTRUCTIVA DE
ENTREPISOS Y TECHOS DE HORMIGÓN ARMADO CON
BLOQUES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”**

**Trabajo de grado previo a la obtención
del Título de Ingeniero Civil**

Autora:

Diana Raquel Avecillas Ríos

Director:

Ing. Nelson Navarro Campos, PhD.

**Cuenca – Ecuador
Octubre 2016**

RESUMEN

En la construcción de edificaciones los techos y entrepisos de hormigón armado requieren un riguroso diseño y ejecución que cumpla los requerimientos que su trabajo a flexión les demanda. Por lo tanto, este estudio propone una alternativa estructural-constructiva frente a la necesidad de aligerar techos y entrepisos de manera segura, de fácil ejecución, con costos adecuados y pesos bajos.

Es conocido que el hormigón, tanto armado como pretensado, tiene un peso relativamente alto, normalizado en 24 kN/m^3 , por lo que introducir elementos de bajo peso específico resulta muy conveniente. Una alternativa más efectiva para conseguir losas aligeradas es mediante elementos (bloques o bovedillas) de poliestireno expandido, EPS. El uso de estos elementos permite conformar la geometría de las secciones transversales y disminuir el peso de la losa en un 45-48% aproximadamente. En nuestro medio tradicionalmente este objetivo se realiza introduciendo bloques de hormigón para delimitar nervaduras, en una o dos direcciones de la losa. Esta alternativa a pesar que está conformada por una parte hueca resulta muy limitada por cuanto son bloques de hormigón o mortero.

En este estudio se aplica EPS como material de aligeramiento. Estos elementos tienen la función de crear secciones tipo T con fondo plano de forma simple. De esta manera se aporta una solución estructural-constructiva para techos y entrepisos de edificaciones integrando hormigón armado con bloques o bovedillas de poliestireno expandido.

El modelo de la alternativa estructural se calculó tanto analíticamente como numéricamente. En el primer caso se aplicaron los métodos del análisis y diseño estructural. Posteriormente se verificó empleando programas computacionales de elementos finitos (MEF) reconocidos como el SAP2000.

Como resultado se dan soluciones racionales del diseño estructural de techos y entrepisos de edificaciones con interés especial en la vivienda social. Debido a su amplia demanda y necesidad de soluciones racionales, económicamente posibles y que aporten la seguridad requerida. Se tiene en cuenta diferentes luces, según estudios de las dimensiones más usuales de los locales de la edificación en su campo de aplicación.

Los resultados demuestran que la alternativa estructural-constructiva tiene superioridad técnica y sugieren ventajas económicas del mismo, comparada con las soluciones aplicadas tradicionalmente.

Palabras Claves: Poliestireno expandido (EPS), bovedillas, losas aligeradas, alternativa estructural-constructiva.

ABSTRACT

In building processes the ceilings and mezzanines require a rigorous design and execution in order to meet the flexion requirements which are subject to. This study is motivated by the detected necessity to provide a structural-constructive alternative for the execution of ceilings and mezzanines in a safe, easy way with adequate prices and lower weights.

It is known that concrete, both reinforced and prestressed, has a relatively high weight, standardized at 24 kN/m^3 , so the introduction of lightening elements is very convenient. A more effective alternative is the use of expanded polystyrene, EPS, elements (blocks or vaults) to form the geometry of the cross sections and achieve lightening in a way that reduces the weight by approximately 45-48%. It is known that this goal of lightening the slabs is traditionally done introducing concrete blocks to delimit ribs in one or two directions of the slab. This lightening is very limited because practically corresponds only to the hollow part of the blocks, also made of concrete or mortar.

In this study EPS, is applied as lightening material. These elements work building T sections with a flat bottom. Thus a structural-constructive solution for ceilings and mezzanines for buildings consisting of reinforced concrete and blocks or slabs of expanded polystyrene is provided.

The model of this structural alternative was calculated both analytically and numerically. The first one according to the methods of structural analysis and design. Later, on the results were verified with a commercially known finite element (FEM) computational program like SAP2000.

As a result rational solutions for structural design of ceilings and mezzanines of buildings, with special interest in social housing is given. Due to its wide demand and need for solutions that are rational, economically possible and provide the required safety. It takes into account the different spans, according to studies of the most usual dimensions of the premises of the building in its scope.

The results suggest a structural-constructive alternative that is advantageous both technically and economically compared to traditional solutions applied.

Keywords: Expanded polystyrene (EPS), vaults, lightening the slabs structural-constructive solution.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN	14
1.1 Planteamiento del Problema.....	14
1.2 Justificación	14
1.3 Antecedentes.....	14
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo General	15
1.4.2 Objetivos Específicos	15
1.5 Alcance y Limitaciones.....	15
1.6 Metodología de trabajo	16
CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO	17
2.1 Campo analítico.....	17
2.2 Generalidades del EPS	18
2.2.1 Características del Material	18
2.2.2 Propiedades del EPS de interés en su aplicación en el sector de la construcción.....	19
2.2.3 Ventajas del aligeramiento en las edificaciones	24
2.3 Descripción de entrepisos y techos con bovedillas de EPS.....	26
2.3.1 Descripción de la solución técnica-constructiva	26
2.3.2 Componentes de la solución técnica-constructiva	26
2.4 Análisis y diseño de losas de hormigón armado a flexión.....	33
2.5 Normas.....	33



CAPITULO 3 - SOLUCIONES ESTRUCTURALES CONSTRUCTIVAS.....	34
3.1 Características técnicas-constructivas	34
3.1.1 Sección de análisis	34
3.1.2 Funcionamiento estructural de los entrepisos y techo	35
3.1.3 Funcionamiento de la vigueta.....	35
3.1.4 Funcionamiento de las bovedillas	35
3.1.5 Cargas de diseño	36
3.2 Entrepisos y techos de hormigón armado de construcción Tradicional	38
3.2.1 Losa Maciza	39
3.2.2 Losa con bloques de mortero 20x40x20cm	41
3.3 Entrepisos y techos de hormigón armado con viguetas y bovedillas de cerámica y mortero	41
3.3.1 Características	41
3.4 Entrepisos y techos de hormigón armado con viguetas y bovedillas de EPS.....	42
3.4.1 Características	42
CAPITULO 4 - INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
4.1 Resultados obtenidos a través del análisis y diseño del hormigón armado	46
4.1.1 Resultados obtenidos de momento para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m.....	47
4.1.2 Resultados obtenidos de momento para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m.....	47
4.2 Procedimiento de cálculo de acero de refuerzo.....	47
4.2.1 Resultados obtenidos de cantidad de acero para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m	48
4.2.2 Resultados obtenidos de cantidad de acero para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m	49
4.3 Procedimiento de cálculo de deformaciones	49
4.3.1 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m	50
4.3.2 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m	50
4.3.3 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m a través de la modelación por elementos finitos.	51



4.3.4 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m a través de la modelación por elementos finitos.	51
4.4 Proceso Constructivo	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS.....	60



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Definición de la sección en SAP2000.	18
Ilustración 2. Etapas del poliestireno.	18
Ilustración 3. Entrepiso de hormigón armado, aligerado con bloques de EPS,	20
Ilustración 4. Deformación vs. Esfuerzos en los poliestirenos	21
Ilustración 5. Edificio construido con EPS en Maaseik, Bélgica.	25
Ilustración 6. Solución técnica - constructiva de entresijos y techos con bovedillas de EPS.	26
Ilustración 7. Edificio de viviendas en la Habana con entresijos y techo de viguetas prefabricadas con bovedillas de EPS.	26
Ilustración 8. Tipos de bovedillas de EPS más usados en la construcción.	27
Ilustración 9. Bovedillas Moldeadas	28
Ilustración 10. Bovedillas Mecanizadas.	28
Ilustración 11. Detalle de ductos de instalaciones eléctricas	28
Ilustración 12. Bovedilla enrasada.	29
Ilustración 13. Bovedilla descolgada	29
Ilustración 14. Malla Armex para retracción y temperatura.	31
Ilustración 15. Porcentaje de encofrado según la solución.	32
Ilustración 16. Vista de bloques de EPS para losas nervadas con casetón mecanizado.	32
Ilustración 17. Elevación a ser usada como elemento de entresijo o techo.	34
Ilustración 18. Sección tipo para cálculos posteriores.	34
Ilustración 19. Combinaciones de cargas.	37
Ilustración 20. Modelos isostáticos representativos del caso en estudio	38
Ilustración 21. Losa maciza de hormigón armado	39
Ilustración 22. Volumen de hormigón en losas	39
Ilustración 23. Peso del acero	40
Ilustración 24. Esquema de losa nervada de hormigón armado mediante	41
Ilustración 25. Exposición de diferentes soluciones de Bovedillas sobre	42
Ilustración 26. Losas unidireccionales.	43
Ilustración 27. Planta tipo Solución Vigueta-Bovedilla	46



Ilustración 28. Sección tipo Viga-Bovedilla-Capa de hormigón.....	46
Ilustración 29. Diagramas de esfuerzos y fuerzas	48
Ilustración 30. Deformación de la sección en estudio.	52
Ilustración 31. Esquema de montaje de Viguetas	53
Ilustración 32. Esquema de montaje de Viguetas-Bovedillas de EPS.....	53
Ilustración 33. Esquema de montaje de viguetas-Bovedillas de EPS-Capa de Hormigón.	54
Ilustración 34. Apuntalamientos para entrepiso	60
Ilustración 35. Acero para conformar el entrepiso	60
Ilustración 36. Colocación de bloques de EPS	61
Ilustración 37. Distribución malla por retracción y temperatura.....	61
Ilustración 38. Hormigonado in situ del entrepiso	62
Ilustración 39. Culminación de hormigonada in situ.....	62
Ilustración 40. Panorama final del entrepiso	63
Ilustración 41. Sistema para entrepisos y techos.....	64
Ilustración 42. Valores para mallas electrosoldadas	65



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nombres usados del EPS, según su respectivo país.....	19
Tabla 2. Densidad mínima recomendada según su aplicación.	20
Tabla 3. Coeficientes de conductividad térmica para distintas densidades.....	22
Tabla 4. Propiedades Químicas	23
Tabla 5. Propiedades del poliestireno expandido	24
Tabla 6. Dimensiones de bovedillas para la solución técnica-constructiva.	30
Tabla 7. Valores de cargas muertas estructurales.....	36
Tabla 8. Valores de cargas muertas no estructurales.....	36
Tabla 9. Carga viva para techos y entresijos.....	37
Tabla 10. Espesor mínimo para losas macizas de en una dirección.....	38
Tabla 11. Valores para losa maciza en luz 4.20 m.	40
Tabla 12. Valores para losa maciza en luz 3.60m.	40
Tabla 13. Valores característicos para losa con bloque de mortero.....	41
Tabla 14. Características de bovedillas de Cerámica y Mortero	42
Tabla 15. Características de las bovedillas de poliestireno	43
Tabla 16. Peso de losa con peralte 17cm.....	44
Tabla 17. Peso de losa con peralte 20cm.....	44
Tabla 18. Peso de losa con peralte 22cm.....	44
Tabla 19. Peso de losa con peralte 25cm.....	45
Tabla 20. Momentos positivos para una luz de 4.20m.....	47
Tabla 21. Momentos positivos para una luz de 3.60m.....	47
Tabla 22. Cantidad de acero para losas de luz 4.20m.....	48
Tabla 23. Cantidad de acero para losas de luz 3.60m.....	49
Tabla 24. Datos para cálculo de deformaciones.....	50
Tabla 25. Valores de deformaciones totales para 4.20m.	50
Tabla 26. Valores de deformaciones totales para 3.60m.....	51
Tabla 27. Valores de deformaciones para 4.20m de luz. Cálculo con SAP.	51
Tabla 28. Valores de deformaciones para 3.60m de luz. Cálculo con SAP	51
Tabla 29. Bovedillas de Cerámica	66
Tabla 30. Ejemplo de cálculo estructural.	67



Yo, Diana Raquel Avecillas Ríos, autora de la tesis **“ALTERNATIVA ESTRUCTURAL - CONSTRUCTIVA DE ENTREPIOS Y TECHOS DE HORMIGÓN ARMADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERA CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, Octubre de 2016



Diana Raquel Avecillas Ríos

C.I. 0106562952



Yo, Diana Raquel Avecillas Ríos, autora de la tesis **“ALTERNATIVA ESTRUCTURAL - CONSTRUCTIVA DE ENTREPISOS Y TECHOS DE HORMIGÓN ARMADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Octubre de 2016



Diana Raquel Avecillas Ríos
C.I. 0106562952



DEDICATORIA

A mi mamita

A Mary se lo dedico este trabajo por ser una maravillosa persona, mi guía, mi razón de ser y mi todo...

A mis hermanos

A Viviana, Fabián y Oswaldo que son personas que me han ofrecido su apoyo incondicional y la calidez de la familia a la cual amo...

DIANA



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecirme por llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad mi sueño anhelado.

A todos los profesores y amistades, grandes personas que estuvieron en mi camino pero un agradecimiento infinito a mi director de tesis Ing. Nelson Navarro por sus consejos, conocimientos y tiempo dedicado a este trabajo.

También me gustaría expresar un agradecimiento al Ing. Esteban Pacheco.

CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

El hormigón armado tiene inconvenientes como: el excesivo peso propio y el gran costo de los encofrados y apuntalamientos. Por eso la necesidad de incorporar alternativas que mejoren estas necesidades.

En la evolución de la técnica de construcción con hormigón armado ha abierto nuevos caminos. El desarrollo dado por factores como la facilidad en el cálculo de las estructuras mediante la utilización de programas, el aumento de calificación de los recursos humanos y los nuevos materiales, han sido factores que facilitan mejores diseños, rápida construcción y bajos costos de las estructuras de hormigón. Un caso, por ejemplo, del desarrollo de esta técnica de construcción queda reflejado en el empleo de un material versátil, ligero y aislante, como el poliestireno expandido, EPS (Grupo Estisol, 2016), utilizando ventajosamente como material de aligeramiento en losas de techos y entrepisos. Aplicando los reglamentos (ACI, 2014) y códigos vigentes para el diseño de estructuras.

1.2 Justificación

El hormigón tanto armado como pretensado, tiene un peso relativamente alto, 24 kN/m³, por lo que introducir elementos de aligeramiento resulta muy conveniente. Este objetivo de aligerar las losas se realiza tradicionalmente en nuestro medio introduciendo bloques de hormigón para delimitar nervaduras, en una o dos direcciones de la losa. El aligeramiento mencionado a pesar que está conformada por una parte hueca es muy limitado, por cuanto son bloques de hormigón o de mortero. Por esta razón, el propósito de implementar una solución constructiva con bloques o bovedillas de poliestireno expandido resulta una aplicación efectiva por sus cualidades como material a ser usado en Ecuador.

Al estudiar una nueva solución técnica-constructiva, lo importante es conocer ventajas económicas inducidas y las propiedades que se obtienen al utilizarlo (Sosa Mena, 2012).

1.3 Antecedentes

Ante esta situación del gran peso propio de las losas macizas de hormigón, y siendo su aplicación efectiva en la flexión, limitada al bloque de compresión, que constituye solo una parte relativamente pequeña la sección transversal, resulta de interés lograr su aligeramiento. Esto en particular cuando se tiene luces relativamente grandes. El bloque o bovedilla de EPS no toma carga estructural, él debe soportar solamente su peso propio y el del hormigón fresco de la losa. Por

lo tanto, en las soluciones de bovedillas de EPS entre viguetas de hormigón prefabricadas, por consiguiente sin encofrado, la condición es que está sea rígida y lo más liviana posible.

El EPS, por su factibilidad de producción en nuestra región, donde ya se cuenta con una planta de producción en la Zona Industrial de Cuenca (Imsale, 2015), por su bajo peso específico y por tener la capacidad de resistencia mecánica y fácil conformación, permite flexibilidad dimensional según requerimientos del diseño estructural correspondiente. Puede tener mucha aplicabilidad de uso en el aligeramiento del hormigón, en particular en este tema de estudio de las losas nervadas en techos y entrepisos, sin necesidad de usar encofrado, al formar los nervios mediante el espacio entre las bovedillas (Cofre Alvarado, 2003).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Aportar soluciones estructurales-constructivas para entrepisos y techos de edificaciones integrando hormigón armado con elementos de poliestireno expandido para reducir pesos y ahorrar encofrado.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Determinar los tipos de entrepisos y techos que serán objetos de estudio mediante su modelación, tanto como referencia (bovedillas de cerámica y mortero) como el caso de la investigación (bovedilla de poliestireno expandido).
2. Realizar el análisis y diseño estructural de los casos de estudio y de sus referencias.
3. Evaluar los resultados en fuerzas interiores y desplazamientos.
4. Determinar los consumos de materiales principales y las ventajas técnicas del proceso constructivo e incluso ventajas económicas inducidas del producto.

1.5 Alcance y Limitaciones

Para poder desarrollar la solución estructural-constructiva de entrepisos y techos de hormigón armado con bloques de poliestireno expandido, se debe disponer de los elementos de EPS, los cuales pasan a ser la materia prima no tradicional utilizada en la construcción. Además, se analizará, comparará y discutirán las ventajas que presenta esta solución en comparación con las otras



alternativas. Este trabajo se realizará analíticamente y numéricamente, pero no de carácter experimental.

En la ciudad se cuenta con producción de EPS, pero no es todavía de la confianza de diseñadores para hacer su uso extensivo, siendo una gran limitación de este producto.

1.6 Metodología de trabajo

Se sigue los procedimientos de análisis y diseño estructural (Nilson, 1999), mediante los modelos de las losas objetos de estudio aplicando programas de computación reconocidos como el SAP2000 (Hernández, 2008). Además, la actividad principal se fundamenta en los cálculos estructurales, despreciando el cortante y la carga axial por ser muy bajo (McCormac, 2011). Como documentos a utilizar están las normas técnicas: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) y la norma del Instituto Americano de la Construcción (ACI-318S-14); así como modelos computacionales. A través, de la investigación se pretende encontrar soluciones estructurales constructivas de techos y entrepisos de hormigón armado con bovedilla de poliestireno expandido, con interés especial en la vivienda interés social. La indagación técnica se realiza por vía analítica-sintético, con modelos de análisis y diseño a flexión con los fundamentos del hormigón armado para las losas de techos y entrepisos, que constituyen el marco teórico del trabajo.

CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO

Por las características de relativa novedad, en nuestro medio el material EPS y la aplicación en este caso, se ha considerado conveniente ubicar el marco teórico con la categoría de un capítulo.

Este capítulo trata del material poliestireno, pero exclusivamente se describe la bovedilla de EPS como material para uso en entrepisos y techos de hormigón armado, asimismo, de las principales partes que la componen.

2.1 Campo analítico

El análisis del comportamiento de una estructura se lleva a cabo con modelos. Un modelo es una representación esquemática o simplificada de la realidad. Este trabajo se enmarca en un campo teórico, esto es, que se utilizarán los métodos y procedimientos del análisis y diseño estructural, con su fundamentación matemática sobre modelos de la estructura real.

El propósito del análisis estructural, realizado sobre los modelos es la determinación de esfuerzos, fuerzas, desplazamientos y deformaciones. Entre los métodos numéricos más avanzados y generalizados en la actualidad está el Método de Elementos Finitos (MEF).

En la modelación estructural influyen aspectos como:

- Identificación de la estructura resistente.
- Geometría.
- Cargas.
- Material.
- Representación de conexiones entre elementos y de condiciones de borde.
- Evaluación de las cargas (magnitud, situación, frecuencia y naturaleza)

El desarrollo de los métodos de análisis, ha permitido la creación de múltiples plataformas para implementar la teoría por ejemplo de MEF, con aporte de los procesos computacionales continuamente más versátiles. Por lo tanto, se ha logrado avances tecnológicos más sofisticados en el diseño y construcción de edificaciones, puentes, etc. Actualmente, hay mayor dominio de la realidad del comportamiento estructural y los parámetros de fuerzas, desplazamientos e incluso los complejos parámetros en los comportamientos dinámicos. Entre estas herramientas resulta de uso muy generalizado programas que implementan dicha teoría, de las cuales el SAP2000.

El objetivo del presente estudio es la solución de techos y entrepisos considerando sección T, utilizando elementos aligerantes y formando la sección según la geometría del EPS.

Los modelos definitivos se analizan por el cálculo del análisis y diseño estructural comparados con el método de elementos finitos, estos son sometidos bajo diferentes condiciones de carga.

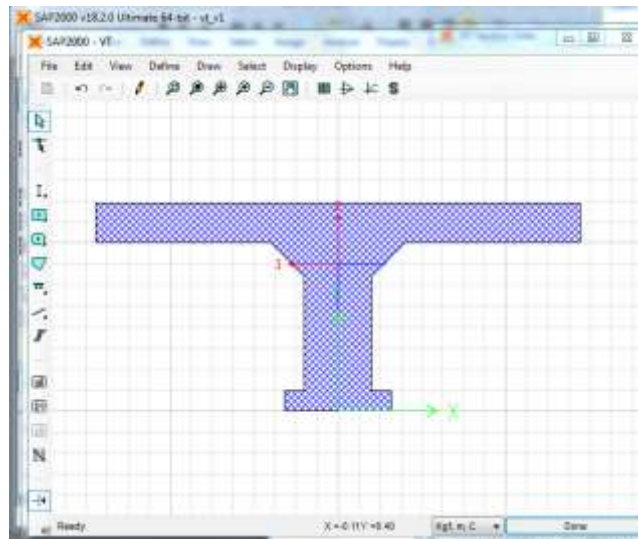


Ilustración 1. Definición de la sección en SAP2000.

2.2 Generalidades del EPS

2.2.1 Características del Material



Ilustración 2. Etapas del poliestireno.
Fuente: (Sumiseran, 1988)

El EPS corresponde a las siglas en inglés “expanded polystyrene”, gracias a sus excelentes cualidades como: ecológico, térmico, resistente a la humedad, sano, liviano, acústico, térmicamente estable y durable se convierte en uno de los productos más utilizados en la actualidad (Imsale, 2015).

En algunos países se le conoce al EPS por varios nombres, generalmente en correspondencia a su fabricante:

Tabla 1. Nombres usados del EPS, según su respectivo país.

PAIS	NOMBRE
Argentina	Telgopor
Brasil	Isopor
Colombia	Icopor
Costa Rica	Estereofón
Chile	Plumavit, aislapol
Cuba	Poliespuma
Ecuador	Espuma-flex
El Salvador	Durapax
España	poliespán, poliexpán, poroexpán, porexpán
Guatemala	Duroport, Thermopor, Monoport
Honduras	Durapax
México	Unicel
Nicaragua	Poroplást
Panamá	Foam
Paraguay	Isopor
Perú	Tecnopor
Portugal	Esferovite
Puerto Rico	Foam, Fom o Fom
República Dominicana	Fon e hielo seco
Uruguay	Espuma plast
Venezuela	Anime

2.2.2 Propiedades del EPS de interés en su aplicación en el sector de la construcción

El EPS es el material fundamentalmente utilizado en este trabajo para colocar entre vigas o viguetas de las soluciones propuestas de techos y entrepisos de hormigón armado. Por esta razón, se mencionan las principales propiedades del material EPS, específicamente las que resultan de interés en el sector de la construcción.



Ilustración 3. Entrepiso de hormigón armado, aligerado con bloques de EPS, constituyendo de losa nervada en una dirección.

Fuente: Ing. Nelson Navarro

El EPS, como material para el alivianamiento, se emplea con éxito ya que alrededor del 98% del volumen del material está constituido por aire.

2.2.2.1 Propiedades físico – mecánicas

- Densidad

Antes de la expansión, tiene densidad de 765 kg/m^3 . Después de este proceso se dilata hasta conseguir un volumen hasta 50 veces mayor. Las densidades más comunes están en el rango de $10 - 40 \text{ kg/m}^3$ (Cofre Alvarado, 2003).

Tabla 2. Densidad mínima recomendada según su aplicación.

Fuente: (Valfi, 2016)

APLICACIÓN	DENSIDAD MÍNIMA (IRAM 1737)
Paredes de mampostería común	15 kg/m^3
Techos de tejas	15-20 kg/m^3
Azoteas	20-25 kg/m^3
Cielorrasos	15 kg/m^3
Entrepisos flotantes	13 kg/m^3
Techo invertido	20-25 kg/m^3

- Tensión por compresión

Es la principal característica mecánica del material de poliestireno expandido de interés de la construcción. Mientras más baja sea la densidad, tan baja será la tensión por compresión. Los valores están en rangos de 65-250 kPa. Además, influye la edad, temperatura y la forma del elemento.

La tensión por compresión se ensaya con cubos de 50 mm de lado, se aplica fuerza y se registran en función al grado de deformación (Cofre Alvarado, 2003).

- Rango elástico

El EPS permite las deformaciones unidireccionales entre 1% - 1,5%, dentro del rango elástico, es decir, el material tiene un comportamiento lineal y elástico. El valor de deformación plástica va en el orden del 60 - 70%, generando un rango elástico lineal hasta deformaciones del 10% y un comportamiento lineal hasta deformaciones del orden del 30%. Las características del poliestireno lo convierten en el mejor de los polímeros.

Otros parámetros importantes del material son su módulo de elasticidad y la relación de Poisson que varían según su densidad entre 1.0 - 11.0 MPa, y 0.08 - 0.17, respectivamente (Cofre Alvarado, 2003).



Ilustración 4. Deformación vs. Esfuerzos en los poliestirenos
Fuente: (Pozuelo, 2016)

2.2.2.2 Propiedades térmicas

- Coeficiente de dilatación y capacidad térmica

Para cálculos, los valores a tomar será: coeficiente de dilatación 7×10^{-5} y capacidad térmica de 1210 J/kgK (BASF Plastics, 2016).

- Coeficiente de conductividad térmica

La conductividad térmica es el transporte de calor, en un espesor de 50mm y a temperatura de 10 °C.

En la tabla 3, se indican los coeficientes de conductividad térmica media para ciertas densidades, válida solo para elementos obtenidos con materias primas estándar (Andimat, 2008).

Tabla 3. Coeficientes de conductividad térmica para distintas densidades.
Fuente: (Andimat, 2008).

DENSIDAD (kg/m ³)	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD (W/m.K)
10	0.043
12	0.040
15	0.038
20	0.035
25	0.034
30	0.033
40	0.032

2.2.2.3 Propiedades higroscópicas

- Absorción de agua

Muchos materiales de construcción tienen la capacidad de absorber la humedad del medio (higroscópico). El EPS, aunque este sumergido en agua, absorbe una pequeña cantidad de humedad. La absorción de agua es mínima alrededor entre 1 y 3% (Anape, 2016). Pero, es recomendable evitar que los elementos de EPS permanezcan durante tiempos prolongados.

El novedoso material impide la absorción del agua de la mezcla de hormigón y en casos puede tener un recubrimiento exterior epóxico. Incluso resiste el tráfico de personal en obra.

2.2.2.4 Comportamiento frente al fuego

El EPS es un polímero con agente expansivo, por tanto, es un material inflamable y combustible. El material comienza a ablandarse lentamente y luego a contraerse con temperaturas sobre los 100 °C. Al aumentar esta temperatura el material se funde.

En losas de hormigón armado con bloques de EPS, no se produce la combustión del poliestireno expandido, ya que, no hay aporte adecuado de oxígeno (Aape, 2005).

2.2.2.5 Resistencia a químicos

El EPS frente puede comportarse de manera estable o inestable ante productos químicos. La tabla 4, muestra el comportamiento del EPS frente a diferentes sustancias químicas.

Tabla 4. Propiedades Químicas
Fuente: (Anape, 2016)

SUSTANCIA	ESTABILIDAD
Aceite de diesel	No estable
Ácido clorhídrico (35%)	Estable
Ácido nítrico (50%)	Estable
Ácidos concentrados (sin agua)	No estable
Ácidos diluidos	Estable
Agua de cal	Estable
Agua de mar	Estable
Carburantes	No estable
Disolventes orgánicos	No estable
Etanol	Estable
Jabones y soluciones tensioactivos	Estable
Metanol	Estable
Soluciones alcalinas	Estable

2.2.2.6 Propiedades relativas al ambiente

El poliestireno expandido tiene las siguientes características (Utilbox SL, 1994):

- El poliestireno expandido es económico tiene 98% de aire.
- El EPS no es biodegradable.
- Los productos de EPS no son tóxicos, pueden tener contacto con alimentos bajo requerimientos de higiene y seguridad.
- Producto que no tiene peligro para uso cotidiano.
- El pentano es inocuo, agente que se usa para producir el EPS. No daña la capa de ozono ni la salud de los seres vivos.
- Totalmente reciclable independientemente de que esté limpio o sucio. El reciclado mecánico llega hasta 5 veces.

2.2.2.7 Resumen de las propiedades del material

En la tabla 5, se muestran valores de las principales propiedades del EPS para uso en el sector de la construcción, para tres valores diferentes de densidad del material.

Tabla 5. Propiedades del poliestireno expandido
Fuente: (BASF Plastics, 2016).

PROPIEDADES	ENSAYO SEGUN	UNIDAD	RESULTADO DEL ENSAYO		
Densidad mínima	DIN 53420	Kg/m ³	15	20	30
Tensión por compresión con 10% de recalado	ISO 785	kPa	65 - 100	110 - 140	200 - 250
Resistencia a la flexión	DIN 53423	kPa	150 - 230	250 - 310	430 - 490
Resistencia al cizallamiento	DIN 53427	kPa	80 - 130	120 - 170	210 - 260
Resistencia a la tracción	DIN 53430	kPa	160 - 260	230 - 330	380 - 480
Módulo de elasticidad (ensayo de compresión)	DIN 53457	MPa	1.0 - 4.0	3.5 - 4.5	7.5 - 11.0
Coeficiente de dilatación térmica lineal		1/K	(5-7) x 10 ⁻⁵		
Absorción de agua por inmersión (en vol.)	después de 7 días	DIN-EN 12087	%	0.50 - 1.50	
	después de 28 días	DIN-EN 12087	%	1.00 - 3.00	

2.2.3 Ventajas del aligeramiento en las edificaciones

El propósito del aligeramiento con elementos de EPS, es el de optimizar los recursos y reducir el costo económico de la construcción manteniendo las condiciones funcionales, estéticas y de seguridad previstas.

El aligeramiento de techos y entrepisos de hormigón armado permite reducir las dimensiones de los elementos que lo resisten (muros, vigas, etc.) y reduciendo su costo económico. Pero ésta no es la única misión del aligeramiento de estructuras ya que también se consiguen una serie de ventajas tecnológicas en diversos aspectos (Anape, 2016) como son:

1. En fase de diseño

- El aligeramiento del peso propio de techos y entrepisos contribuyen una reducción de la deformación y desplazamiento que es una restricción que establecen límites.
- La disminución del peso propio reduce cargas, lo cual permite el ahorro en el armado en vigas, columnas y cimientos, que es significativo económicamente y aporta una optimización de secciones.

2. En fase de ejecución

- En disminución de costos en el transporte y la manipulación.
- En disminución de costos en recursos humanos, por la facilidad de manipulación al ser piezas muy ligeras.
- En disminución de cansancio por parte del personal de construcción, ya que son elementos más livianas.
- En disminución de apuntalamientos.

3. Un mejor comportamiento antisísmico

- Al reducir la masa de la estructura se reduce la fuerza predominante horizontal que genera la aceleración sísmica de la construcción y correspondiente también a la deformación horizontal.

En el Manual ANAPE se comenta: *“El peso propio representa aproximadamente el 50% de la carga total del edificio”*



Ilustración 5. Edificio construido con EPS en Maaseik, Bélgica.
Fuente: (EUMEPS, 2016)

2.3 Descripción de entresijos y techos con bovedillas de EPS

2.3.1 Descripción de la solución técnica-constructiva

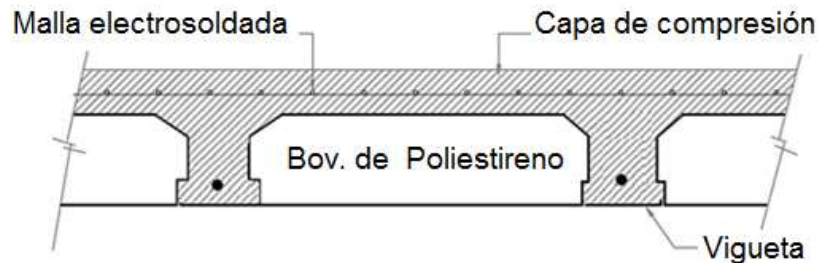


Ilustración 6. Solución técnica - constructiva de entresijos y techos con bovedillas de EPS.
Fuente: (Vypsa, 2009).

La solución técnica constructiva cuenta con un bloque de poliestireno en forma de bovedilla (reemplaza a la bovedilla de cerámica o mortero), vigueta y una capa de compresión de hormigón in situ, generalmente armada con malla electrosoldada y trabaja como una losa unidireccional nervada de hormigón.

En 1996, se reconoce al EPS como adecuado para su uso como pieza de entrevigado de entresijos y techos unidireccionales de hormigón armado (Anape, 2016).



Ilustración 7. Edificio de viviendas en la Habana con entresijos y techo de viguetas prefabricadas con bovedillas de EPS.
Foto: Ing. Nelson Navarro.

2.3.2 Componentes de la solución técnica-constructiva

2.3.2.1 Bovedillas de EPS

Las bovedillas de EPS (poliestireno expandido) son elementos aligerantes de la solución técnica-constructiva con la función de reducir el alto peso propio de entresijos y techos de hormigón expandido, así como suprimir el

encofrado durante el proceso constructivo. Se aplica la teoría del análisis estructural (Cofre Alvarado, 2003).

Las bovedillas de EPS son la mejor opción para techos y entrepisos de hormigón armado con viguetas, sustituyendo los elementos tradicionales como: los bloques de pared e incluso las bovedillas de cerámica o de mortero (Azqueta, 2006).



Ilustración 8. Tipos de bovedillas de EPS más usados en la construcción.
Fuente: (Utilbox SL, 1994).

Ya en Ecuador, en particular la ciudad de Cuenca, la empresa cuencana Imsale elabora productos de EPS. Está instalada en la Zona Industrial y suministra la demanda que se va produciendo en diferentes aplicaciones (Imsale, 2015). Aunque muy inicialmente aun, al menos se cuenta ya con un primer paso en este sentido. Este trabajo por tanto constituirá un avance en el desarrollo tecnológico de la construcción.

- **Fabricación de bovedillas**

Las bovedillas se fabrican por medio de corte o moldeado con filamento caliente de diferentes dimensiones. Asimismo, se adicionan aditivos como catalizadores, agentes ignífugos y para estabilizar la suspensión y tamaño de las perlas (Anape, 2016). Su peso para un ancho de 62 cm y una altura de 15 cm, con densidad de 15 kg/m³ es de 1.395 kg por metro de largo, considerando sin cavidades (Bovedilla mecanizada).

- **Tipos de bovedillas EPS**

Según el proceso de fabricación, las bovedillas de EPS se clasifican en:

- **Bovedillas moldeadas:**

Las bovedillas moldeadas o alveolares son procedentes del moldeo de perlas preexpandidas de EPS. Incluye cavidades para ahorro de material y ranuras en la parte inferior (Grupo Estisol, 2016).



Ilustración 9. Bovedillas Moldeadas
Fuente: (Grupo Estisol, 2016).

- **Bovedillas mecanizadas:**

Las bovedillas mecanizadas o macizas son procedentes del corte y mecanizado de bloques de EPS (Grupo Estisol, 2016).

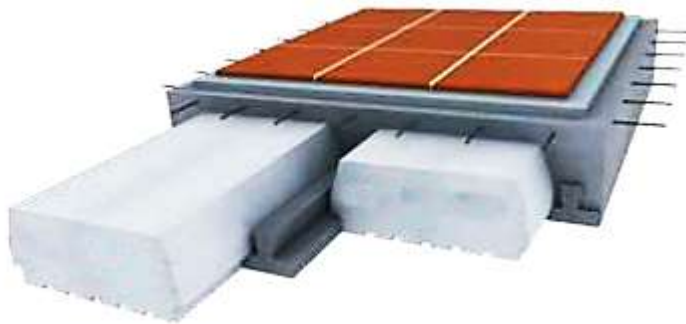


Ilustración 10. Bovedillas Mecanizadas.
Fuente: (Grupo Estisol, 2016)

Las bovedillas mecanizadas de EPS poseen ranuras, al igual que las moldeadas, que sirven para mejorar la adherencia a la hora del proceso de enlucido en el techo y permitir el paso de instalaciones eléctricas.



Ilustración 11. Detalle de ductos de instalaciones eléctricas
Fuente: (Limachi, 2014)

También, según la utilización específica, las bovedillas de EPS se clasifican en:

- **Bovedillas enrasadas:**

Las bovedillas enrasadas, son parecidas a las bovedillas tradicionales (hormigón o cerámico) en asunto de terminado (Anape, 2016).

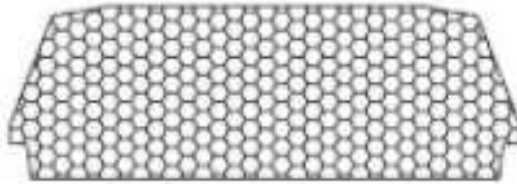


Ilustración 12. Bovedilla enrasada
Fuente: (Anape, 2016).

- **Bovedillas descolgadas:**

Las bovedillas descolgadas ofrecen un plano de EPS continuo, gracias a las pestañas y la ejecución de losas unidireccionales con nervios con hormigón in situ (Anape, 2016).

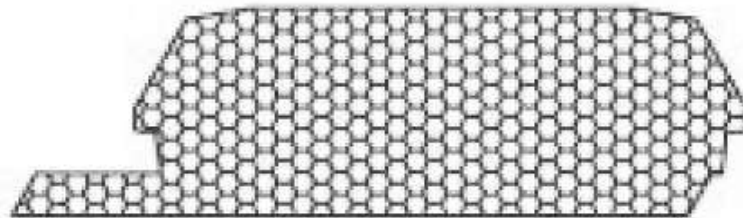


Ilustración 13. Bovedilla descolgada
Fuente: (Anape, 2016)

- Ventajas

Las ventajas que proporcionan las bovedillas de poliestireno expandido son relevantes ante otro elemento tradicional (cerámica, mortero, etc.) debido a sus beneficios que aporta en obra.

Ligero. Por su baja densidad, permite reducción de carga en el peso hasta de 200 kg/m^2 en losas con bovedillas de EPS, lo que representa ahorro de áridos, cemento, costos mano de obra (10%-30%) (Grupo Estisol, 2016). Además, al usar el producto se reducen las secciones estructurales columnas, cimentaciones, etc. (Vypsa, 2009).

Aislante acústico. Por su poder amortiguante, el EPS se convierte en un excelente aislante de ruidos de impactos entre los pisos brindando así mayor comodidad.

Aislante térmico. Debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica brinda confort y ahorro de energía eléctrica (aire acondicionado, calefacción).

Rapidez de colocación. Por su versatilidad y bajo peso permite de forma fácil y rápida colocar entre las viguetas para formar parte de la estructura con mayor limpieza y orden. Además, ahorros del 100% en encofrados si se usan viguetas prefabricadas.

Mejora el fraguado del hormigón. Su característica de ser impermeable permite mantener la relación a/c del hormigón. La bovedilla de EPS conserva la temperatura extrema del hormigón en obra, debido a ser un aislante térmico.

Garantías. Las bovedillas para entrepisos de EPS se fabrican según la norma IRAM 1738 de “Bloques de Poliestireno Expandido para Forjados”, lo que resulta de gran respaldo para verificar la calidad. Otras normas IRAM 11910 y 11918 “Material combustible de muy baja propagación de llama” validan al producto (Anape, 2016).

- Rango de dimensiones de bovedillas de EPS

Las dimensiones de las bovedillas de EPS que se encuentran en el mercado se presentan en la tabla 6. Estas son analizadas para la solución técnica-constructiva de entrepisos y techos de hormigón armado.

Tabla 6. Dimensiones de bovedillas para la solución técnica-constructiva.

LOSA	ESPEJOR DE BOVEDILLA (cm)	ANCHO DE BOVEDILLA (cm)	CAPA DE COMPRESIÓN (cm)	PERALTE TOTAL (cm)	DISTANCIA ENTRE EJES (cm)
TIPO 1	12	62	5	17	72
TIPO 2	15	62	5	20	72
TIPO 3	17	62	5	22	72
TIPO 4	20	62	5	25	72

- Densidad necesaria en bovedillas de EPS

La densidad mínima de fabricación del poliestireno expandido es 10 kg/m³, según la Norma Chilena NCh 1070 (Achipex, 2016).

2.3.2.2 Componentes complementarios

- Hormigón

Para el diseño y producción de un hormigón de masa normal se debe satisfacer por lo menos los requisitos (NEC-15, 2015), (Sánchez de Guzman, 2000):

1. Resistencia: $> 210 \text{ kg/cm}^2$
2. Revenimiento: entre 5cm - 10cm
3. Tamaño máximo del agregado: $19\text{mm}(\frac{3}{4}'') - 25\text{mm}(1'')$
4. Rendimiento: es confirmar que un metro cúbico de hormigón contiene 1000 litros.

- Malla electrosoldada

La capa de compresión generalmente esta reforzada por malla de acero electrosoldada tipo tradicional Armex, que sirve como armadura para distribuir transversalmente las cargas y soportar los esfuerzos por contracción y temperatura que recibe la losa.



Ilustración 14. Malla Armex para retracción y temperatura.
Fuente: (Ideal Alambrec, 2016)

- Vigüeta

El estudio de la vigüeta no es objetivo de este trabajo aunque se aplica como soportes de las bovedillas y partes principales de los entrepisos y techos. Este elemento está formado por las siguientes partes principales: la armadura y un patín de hormigón.

- Encofrado

Sin duda alguna el encofrado para losa maciza de hormigón armado usa la superficie total de encofrado, así aumentando el costo de la obra. Con la alternativa de usar losas aligeradas, el uso del encofrado está por debajo del 40%.

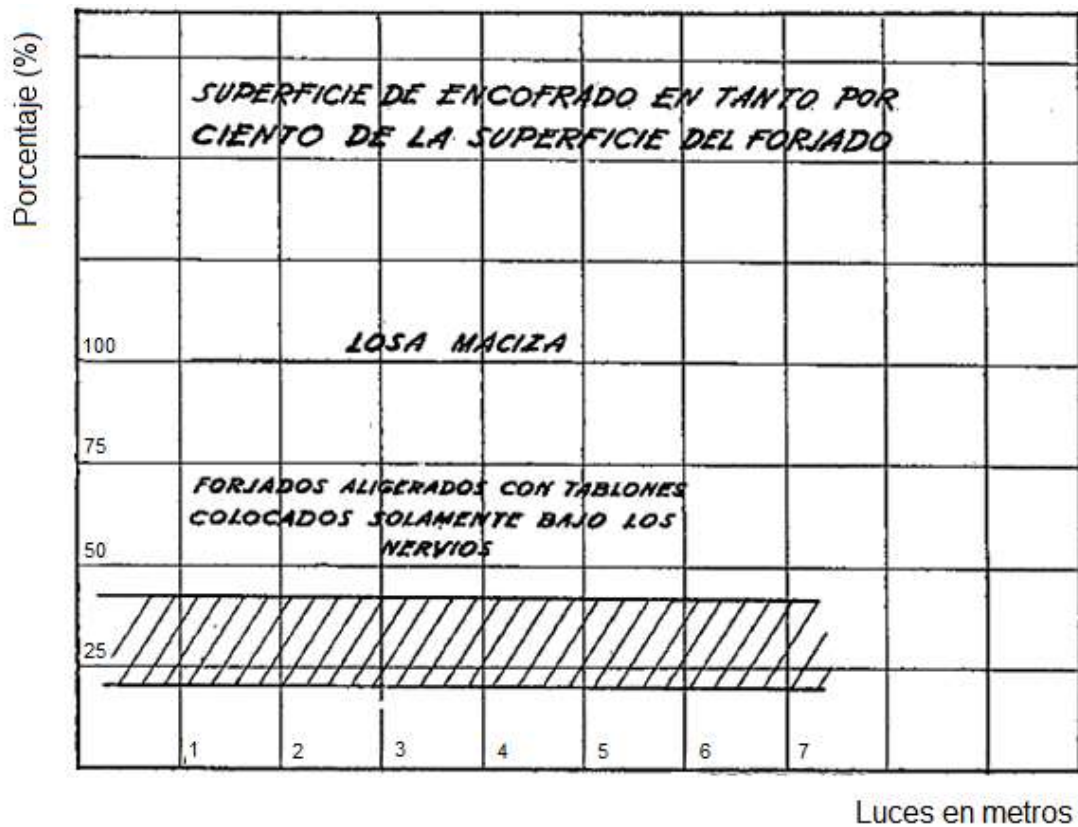


Ilustración 15. Porcentaje de encofrado según la solución.
Fuente: (Muzquiz J. , 1945)

2.3.2.3 Otras aplicaciones con bloques de EPS

Losas bidireccionales se compone de nervios en ambas direcciones y la elaboración es más compleja. Se podrá elegir entre los tipos: mecanizado y moldeado.



Ilustración 16. Vista de bloques de EPS para losas nervadas con casetón mecanizado.
Fuente: (Bovedeco, 2016)

2.4 Análisis y diseño de losas de hormigón armado a flexión

Dado que los modelos ilustrados a continuación trabajan a flexión, el diseño de losas de hormigón considera los siguientes conceptos:

1. El eje neutro de la sección permanece en la capa de compresión (ancho de ala de la sección T), es decir $a < 5 \text{ cm}$.
2. La cuantía mínima del acero es 0.33 % (ACI, 2014).
3. Para losas con alivianamiento de poliestireno, hay estado de confinamiento del poliestireno expandido y la densidad de conectores permiten que exista una transferencia adecuada de fuerzas. (NEC-15, 2015)

El diseño de entrepisos y techos en relación a sus dos dimensiones, se basa en los capítulo 7 (Losas en una dirección) y capítulo 8 (Losas en dos direcciones) según los requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14), comentarios a requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318RS-14) o Norma Ecuatoriana de la construcción “viviendas hasta dos pisos con luces hasta 5 m”.

2.5 Normas

Los fundamentos del marco teórico se establecen para garantizar su aplicación en documentos oficiales, en este caso se puede citar los siguientes documentos normalizativos, códigos:

- NEC-SE-CG
- NEC-SE-HM

Otras normas extranjeras de reconocido crédito internacional como:

- ACI-318-14
- Norma IRAM 1738 de requisitos de Bloques de Poliestireno Expandido para Forjados (Anape, 2016).

Otros documentos, fundamentados en el marco teórico aplicable al caso son manuales y recopilaciones de información como:

- Manual EPS ANAPE

CAPITULO 3 - SOLUCIONES ESTRUCTURALES CONSTRUCTIVAS

Para tener referencia de las ventajas técnico-constructivas e incluso de carácter económico aunque en este aspecto solo de forma general se diseñan diferentes soluciones de un entepiso representativo, en iguales condiciones pero diferentes soluciones. La variable entre cada modelo es el peralte de la losa (17 – 25 cm) y la bovedilla usada.

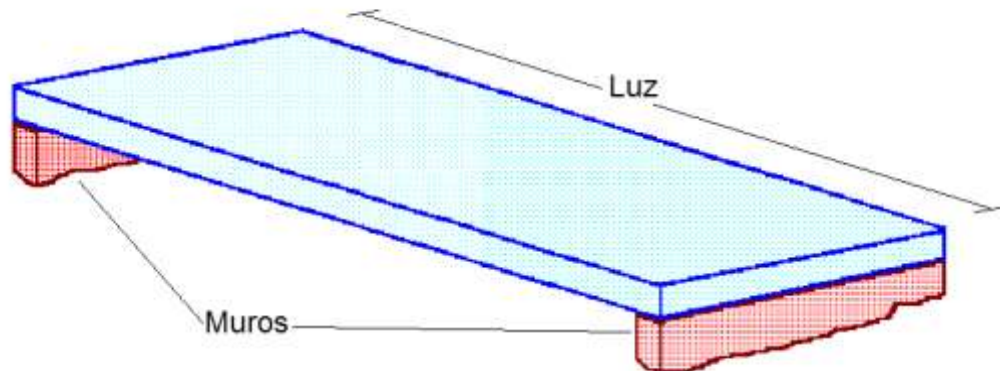


Ilustración 17. Elevación a ser usada como elemento de entepiso o techo.
Fuente: (Romo Proaño, 2008)

Se puede decir que la losa trabaja en una dirección si se apoya en dos costados, como en la ilustración anterior.

3.1 Características técnicas-constructivas

3.1.1 Sección de análisis

En el capítulo 2 (Sección 2.3.2), se indica la descripción de los componentes de la solución técnica - constructiva de la losa como: hormigón, malla electrosoldada y otros.

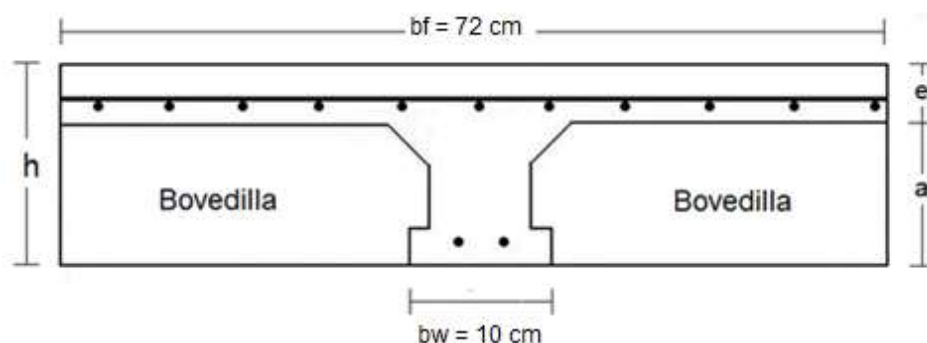


Ilustración 18. Sección tipo para cálculos posteriores.

Donde:

a: Altura de Bovedilla

bf: Ancho de sección T

bw: Ancho del alma de sección T

h: Peralte de Losa

e: Espesor del ala de la sección T

3.1.2 Funcionamiento estructural de los entrepisos y techo

Los entrepisos y techos de hormigón armado con bovedillas deben cumplir con esfuerzos y deformaciones durante la vida útil.

3.1.3 Funcionamiento de la vigueta

En las viguetas el espesor hormigón y el espesor del acero es menor, si la luz disminuye al igual el peso de la estructura.

3.1.3.1 Especificaciones Técnicas para medidas de vigueta

Los entrepisos y techos de hormigón armado con viguetas en una dirección, deben dimensionarse con la especificación para elementos de hormigón armado no preesforzados como si fueran estructuras de vigas y losa de acuerdo a los reglamentos del ACI 318S-14, ACI 318RS-14 o la Norma Ecuatoriana de la Construcción “Estructuras de Hormigón Armado” (NEC-SE-HM). Estos límites son:

- Espesor de losa: 5 cm
- Mínima resistencia $f'c$ para viviendas, edificaciones: 210 kg/cm²
- Refuerzo de acero f_y : 4200 kg/cm²
- Mínimo recubrimiento no expuesto a interperie ni suelo: 4 cm
- Máximo espacio entre viguetas: 100 cm
- Máxima deformación: 0.9 cm
- Anchura de vigueta: 10cm
- Malla electrosoldada en la capa de compresión: por retracción y temperatura
- Luz libre: 62 cm

3.1.4 Funcionamiento de las bovedillas

Las bovedillas de ESP no soportan la carga estructural, sino se encargan del peso del hormigón cuando está fresco y su propio peso. Por lo tanto, este componente debe cumplir rigidez, baja densidad y económico.

3.1.5 Cargas de diseño

3.1.5.1 Pesos y cargas

- Cargas muertas estructurales

La carga muerta (D), está constituida principalmente por el peso propio de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura. En este caso se analiza la capa de hormigón armado de la estructura.

Tabla 7. Valores de cargas muertas estructurales.

MATERIAL	VALOR	UNIDAD	CÓDIGO
Hormigón Armado	2400	kg/m ³	NEC-SE-CG

- Cargas muertas no estructurales

Esta carga es un peso adicional a considerar por los componentes no estructurales que forman parte de la estructura. Se puede mencionar: la tabiquería divisoria, pisos, recubrimientos, instalaciones igual a 100 Kg/m².

Tabla 8. Valores de cargas muertas no estructurales.

MATERIAL	VALOR	UNIDAD	CÓDIGO
Elementos no estructurales	100	kg/m ²	
Bovedilla de Mortero	1200	kg/m ³	NEC-SE-CG
Bovedilla de Cerámica	1000	kg/m ³	NEC-SE-CG
Bovedilla de EPS	10-40*	kg/m ³	Anape

La empresa Imsale fabrica bovedillas de densidad 15 kg/m³, por lo que se considera este valor para el desarrollo de este trabajo.

- Cargas variables

La carga viva (L), depende del uso a la que está destinada la estructura, está conformado por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. Además, se puede mencionar la carga viva en techo (Lr). En este caso no se considera para el cálculo porque se hará el estudio en los entrepisos.

Tabla 9. Carga viva para techos y entresijos.
Fuente: (NEC-15, 2015)

OCUPACIÓN	CARGA UNIFORME
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	70 kg/m ²
Oficinas	240 kg/m ²
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	200 kg/m ²
Hoteles y residencias multifamiliares	200 kg/m ²

- Cargas ambientales

Las cargas ambientales son: carga de viento (W), carga de nieve (S), carga de lluvia (R), carga de sismo (E). Estos estados son de cargas temporales depende de la ocurrencia para su uso, no usado en el cálculo.

- Combinación de cargas

Las estructuras son diseñadas de tal manera que el diseño a última resistencia iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, según las siguientes combinaciones:

Combinación de carga	Carga primaria
$U = 1.4D$	D
$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$	L
$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$	$L_r \text{ ó } S \text{ ó } R$
$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$	W
$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	E
$U = 0.9D + 1.0W$	W
$U = 0.9D + 1.0E$	E

Ilustración 19. Combinaciones de cargas.
Fuente: (ACI, 2014)

3.1.5.2 Luz libre de cálculo

La luz libre en este estudio es constante para que no influya en los comportamientos que se requieren constatar.

Los valores más usuales en la construcción de la vivienda social son 4.20 y 3.60m y se usa una vigueta. En cambio, para el caso de luces mayores de 6.00m se usa doble vigueta.

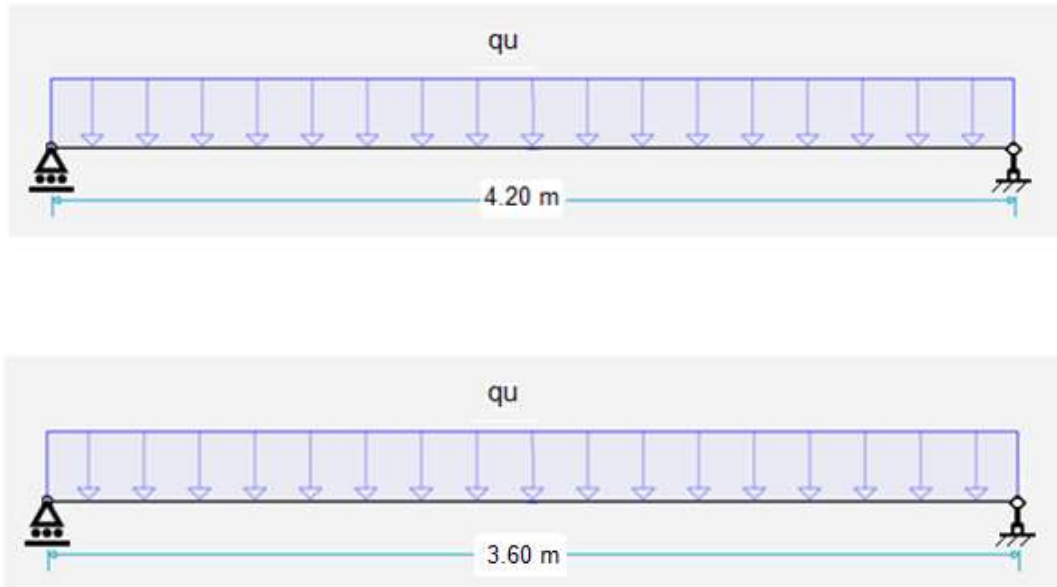


Ilustración 20. Modelos isostáticos representativos del caso en estudio

Dada la luz donde se va a desarrollar, se puede hacer aproximaciones de peraltes de losa maciza según la condición de apoyo.

Tabla 10. Espesor mínimo para losas macizas de en una dirección
Fuente: (ACI, 2014)

CONDICIÓN DE APOYO	h mínimo
Simplemente apoyada	$L/20$

3.2 Entrepisos y techos de hormigón armado de construcción Tradicional

En la construcción de edificaciones en el país se ha realizado principalmente de forma tradicional, es decir, usando mampostería de bloque de hormigón y ladrillos de arcilla cocida. Generalmente, el peralte es muy grande y demasiado consumo de cantidad acero (Muzquiz J. , 1945).

3.2.1 Losa Maciza

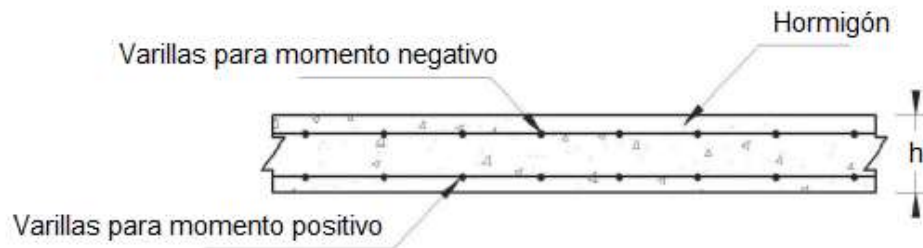


Ilustración 21. Losa maciza de hormigón armado
Fuente: (NEC-15, 2015)

Estas losas presentan inconvenientes siendo el principal el aumento de peso propio, su mayor sonoridad, mayor encofrado y seguido por el aumento de acero comparando con otras alternativas constructivas. Por lo tanto, mayor consumo de hormigón y acero lo que representa mayor gasto económico. Aunque muestra ventaja al aumentar notablemente la seguridad, debido al enlace con el resto de la construcción. En las siguientes ilustraciones se puede observar lo mencionado.

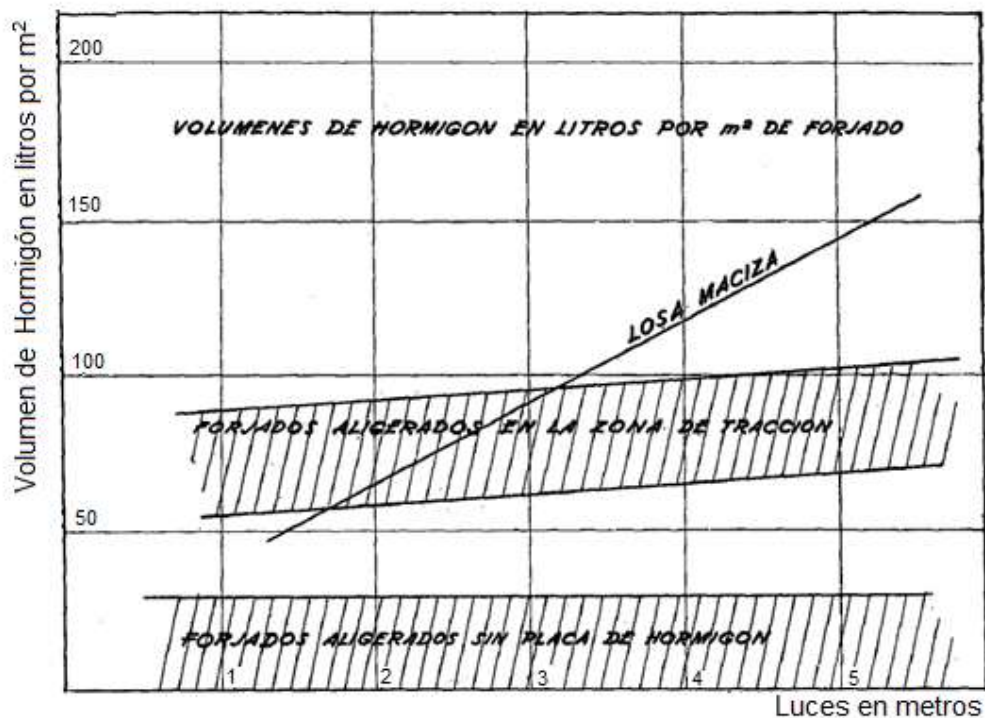


Ilustración 22. Volumen de hormigón en losas
Fuente: (Muzquiz J. , 1945).

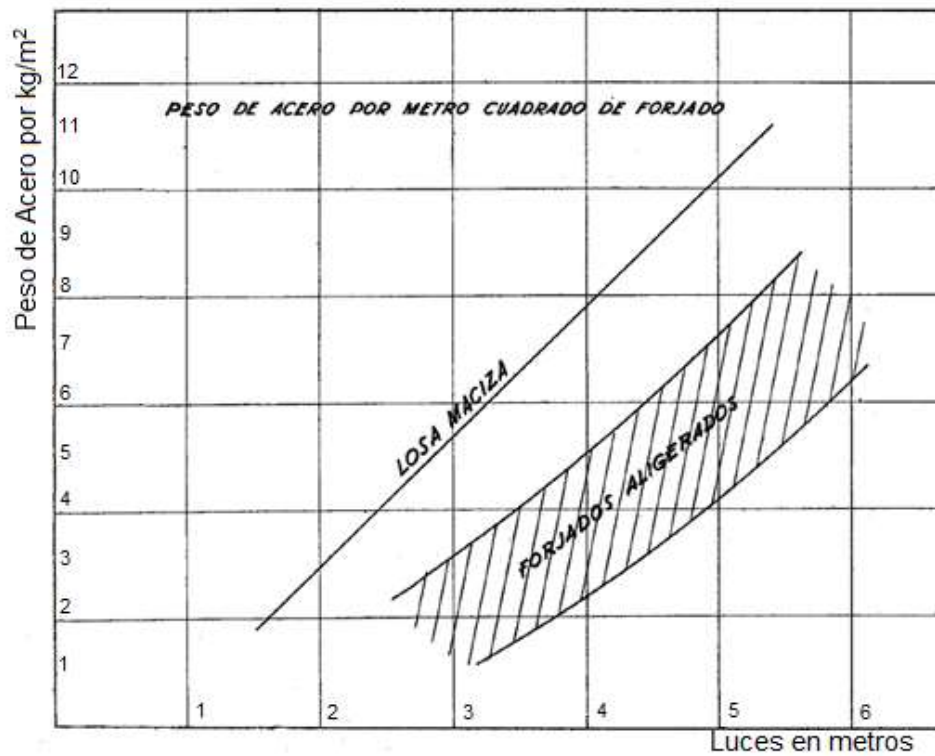


Ilustración 23. Peso del acero
Fuente: (Muzquiz J. , 1945).

En las tablas 11 y 12, se muestran las características de una losa maciza de hormigón armado según la luz usada.

Tabla 11. Valores para losa maciza en luz 4.20 m.

PARÁMETRO	UNIDAD	LOSA MACIZA
Distancia entre Ejes	m	0.72
Peralte de losa	m	0.25
Densidad	kg/m ³	2400.00
Peso de losa	kg/m ²	600.00

Tabla 12. Valores para losa maciza en luz 3.60m.

PARÁMETRO	UNIDAD	LOSA MACIZA
Distancia entre Ejes	m	0.72
Peralte de losa	m	0.22
Densidad	kg/m ³	2400.00
Peso de losa	kg/m ²	528.00

3.2.2 Losa con bloques de mortero 20x40x20cm

El uso de los bloques de pared de mortero que ha venido haciéndose de forma tradicional como una solución, pero no es la mejor, ya que la distancia entre ejes es pequeña y el bloque tiene una densidad considerable.

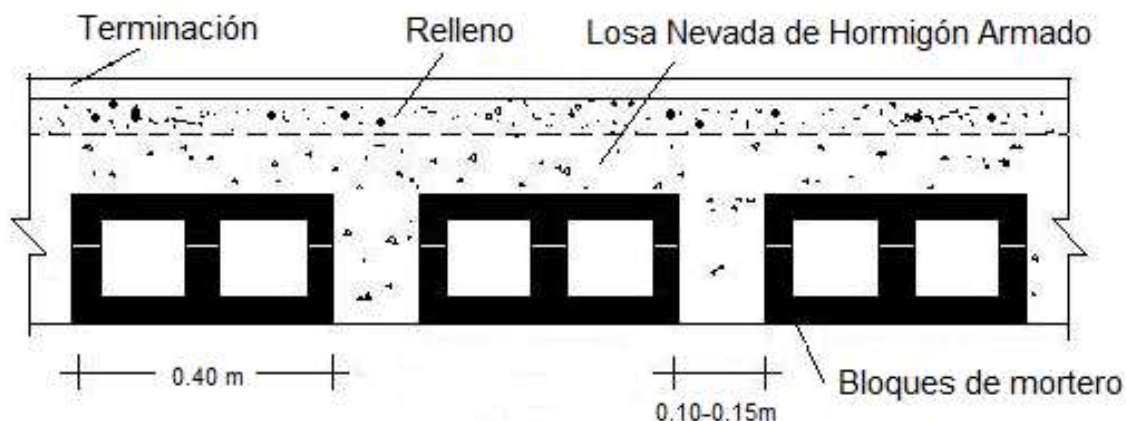


Ilustración 24. Esquema de losa nervada de hormigón armado mediante bloques de cerámica o de mortero.

Del Libro: Patologías, Diagnóstico y Rehabilitación, Nelson Navarro y Ángel J. Pino.

Entre sus características para el cálculo se muestran en la tabla 13:

Tabla 13. Valores característicos para losa con bloque de mortero.

PARÁMETRO	UNIDAD	BLOQUE DE MORTERO
Distancia entre Ejes	m	0.50
Altura de bloque	m	0.20
Espesor capa de compresión	m	0.05
Peralte de losa	m	0.25
Densidad	kg/m ³	1200.00
Peso de losa	kg/m ²	408.00

3.3 Entrepisos y techos de hormigón armado con viguetas y bovedillas de cerámica y mortero

3.3.1 Características

Las bovedillas pueden ser de diversos materiales y dimensiones, en los catálogos se encuentra una gran gama de productos según la necesidad.

Incluso, la bovedilla de cerámica se puede utilizar de una manera diferente, es decir, sin capa de compresión. Es notable la reducción de peso en comparación con otros y de esta manera menor cantidad de hierro. Pero, el grado de

empotramiento es menor, así considera momentos flectores mayores (Muzquiz J. , 1945).

Entre algunas cualidades de esta bovedilla y la de mortero se puede mencionar lo siguiente:

Tabla 14. Características de bovedillas de Cerámica y Mortero
Fuente: (Grupo Estisol, 2016)

BOVEDILLA CERÁMICA Y MORTERO	
Roturas y quiebres	< 10%
Encaje entre bloques	No tiene
Aislación térmica	Escasa
Cortes en obra	Con desperdicios
Paso para conductos	Daños en el bloque
Resistencia a impactos	Se quiebra
Traslado y manipulación	Pesado y delicado

Siendo la utilizada de dimensiones 60x15x25 cm como se muestran a continuación:



Ilustración 25. Exposición de diferentes soluciones de Bovedillas sobre semi viguetas de Hormigón armado CTVU, CTVU, Cuba.
Foto: Nelson Navarro.

3.4 Entrepisos y techos de hormigón armado con viguetas y bovedillas de EPS

3.4.1 Características

El aligeramiento con bovedillas de EPS consiste en sustituir la zona de la sección transversal que no trabaja a flexión de la losa por un material estáticamente inactivo, de menor peso y mejores propiedades aislantes que el hormigón convencional. Así, reduciendo costos, tiempos y mano de obra por la disminución de encofrado continuo y apuntalamientos (Azqueta, 2006).



Ilustración 26. Losas unidireccionales.
Fuente: (Bovedeco, 2016)

El poliestireno expandido es utilizado para aligerar losas debido a su bajo peso específico y por tanto alto porcentaje de aligeramiento. Entre sus cualidades durante la obra se puede considerar:

Tabla 15. Características de las bovedillas de poliestireno
Fuente: (Grupo Estisol, 2016)

BOVEDILLA DE EPS	
Roturas y quiebres	Sin roturas
Encaje entre bloques	Perfecto
Aislación térmica	Muy buena
Cortes en obra	Muy fáciles
Paso para conductos	Permite
Resistencia a impactos	Muy buena
Traslado y manipulación	Liviano y cómodo

En resumen, se compara las tres bovedillas: cerámica, mortero y poliestireno expandido con peralte variable de la losa: 17, 20, 22, 25 cm. Se puede ver diferencias notables entre bovedillas. A continuación, en las tablas 16, 17, 18 y 19 se presentan:

Tabla 16. Peso de losa con peralte 17cm.

Parámetro	Unidad	Bovedilla de Mortero	Bovedilla de Cerámica	Bovedilla de EPS
Distancia entre Ejes	m		0.72	
Altura de bovedilla	m		0.12	
Espesor capa de compresión	m		0.05	
Peralte de losa	m		0.17	
Densidad	kg/m ³	1200.00	1000.00	15.00
Peso de losa	kg/m ²	345.00	324.33	222.55

Tabla 17. Peso de losa con peralte 20cm.

Parámetro	Unidad	Bovedilla de Mortero	Bovedilla de Cerámica	Bovedilla de EPS
Distancia entre Ejes	m		0.72	
Altura de bovedilla	m		0.15	
Espesor capa de compresión	m		0.05	
Peralte de losa	m		0.20	
Densidad	kg/m ³	1200.00	1000.00	15.00
Peso de losa	kg/m ²	386.00	360.17	232.94

Tabla 18. Peso de losa con peralte 22cm.

Parámetro	Unidad	Bovedilla de Mortero	Bovedilla de Cerámica	Bovedilla de EPS
Distancia entre Ejes	m		0.72	
Altura de bovedilla	m		0.17	
Espesor capa de compresión	m		0.05	
Peralte de losa	m		0.22	
Densidad	kg/m ³	1200.00	1000.00	15.00
Peso de losa	kg/m ²	413.33	384.06	239.86

Tabla 19. Peso de losa con peralte 25cm.

Parámetro	Unidad	Bovedilla de Mortero	Bovedilla de Cerámica	Bovedilla de EPS
Distancia entre Ejes	m		0.72	
Altura de bovedilla	m		0.2	
Espesor capa de compresión	m		0.05	
Peralte de losa	m		0.25	
Densidad	kg/m ³	1200.00	1000.00	15.00
Peso de losa	kg/m ²	454.33	419.89	250.25

En estas tablas, se calculan el peso de las losas según el tipo de bovedilla a usar. Resultando muy conveniente la bovedilla de poliestireno expandido, por su gran aligeramiento siendo una razón más para su utilización, ya que, posteriormente este repercutirá en cálculos de momentos, deformaciones, etc.

CAPITULO 4 - INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos a través del análisis y diseño del hormigón armado

Para las distintas soluciones estructurales-constructivas de hormigón armado, ya mencionadas en el capítulo 3, se considera la luz de 4.20m y 3.60m con objetivo de estudio ya que son valores intermedios entre 2.40-6.00m.

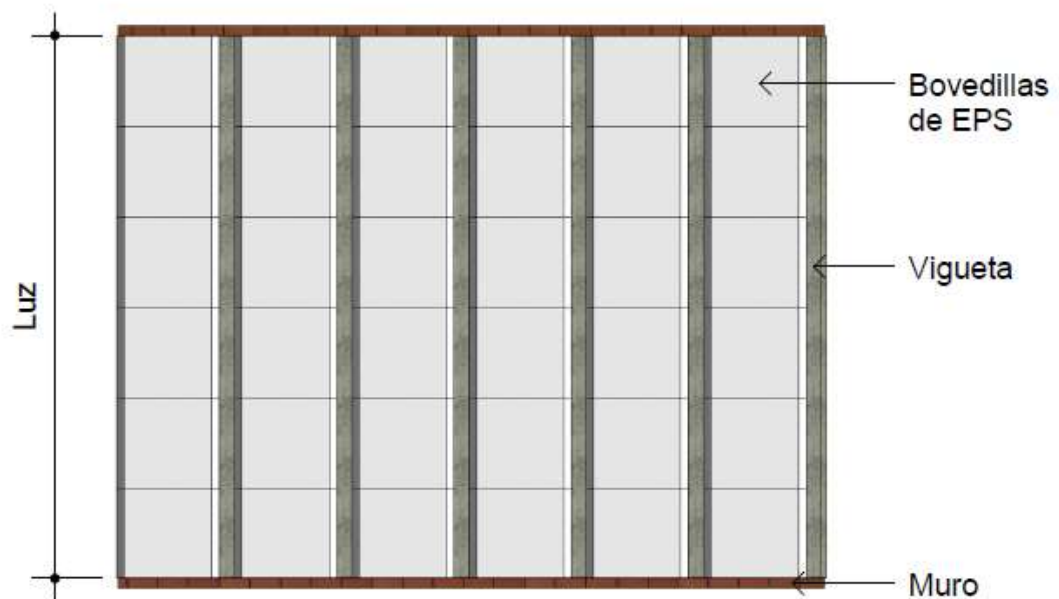


Ilustración 27. Planta tipo Solución Vigueta-Bovedilla

Contiene una misma sección transversal, consumo de hormigón, con peraltes de la losa de 25mm y 22mm respectivamente y todos los parámetros restantes iguales.

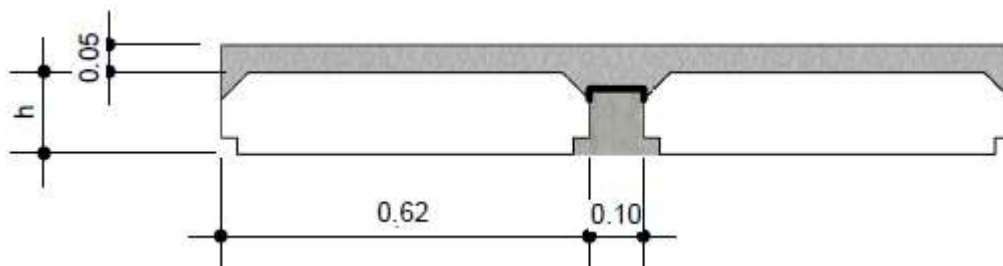


Ilustración 28. Sección tipo Viga-Bovedilla-Capa de hormigón

4.1.1 Resultados obtenidos de momento para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m

En tabla 20, se indican los valores obtenidos de los momentos positivos del nervio, no se generan momentos negativos (en extremos), debido a que la losa trabaja como un elemento isostático. En este caso, se calculó con un ancho colaborante de 72 cm por fines comparativos, en todas las losas. A continuación, se presentan los valores calculados de las losas:

Tabla 20. Momentos positivos para una luz de 4.20m.

LOSA	MOMENTO (kgf.m)
Bovedilla de EPS	1276.91
Bovedilla de Cerámica	1600.09
Bovedilla de Mortero	1665.71
Con Bloque de 20x20x40 *	1577.43
Maciza	1760.33

* Por uniformidad se escaló a 72cm para poder comparar

4.1.2 Resultados obtenidos de momento para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m

De igual manera se indican los valores obtenidos de los momentos positivos:

Tabla 21. Momentos positivos para una luz de 3.60m

LOSA	MOMENTO (kgf.m)
Bovedilla de EPS	923.60
Bovedilla de Cerámica	1125.42
Bovedilla de Mortero	1166.40
Maciza	1326.89

4.2 Procedimiento de cálculo de acero de refuerzo

El acero de refuerzo se calcula mediante el criterio de última resistencia (Nilson, 1999), el cual está definido por:

$$\phi M_n = M_u \quad (\text{ACI, 2014})$$

Usando las ecuaciones de equilibrio ($\sum F = 0$ y $\sum M = M_n$) como se muestra en la ilustración 29, el diagrama de fuerzas, se puede deducir las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{f_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

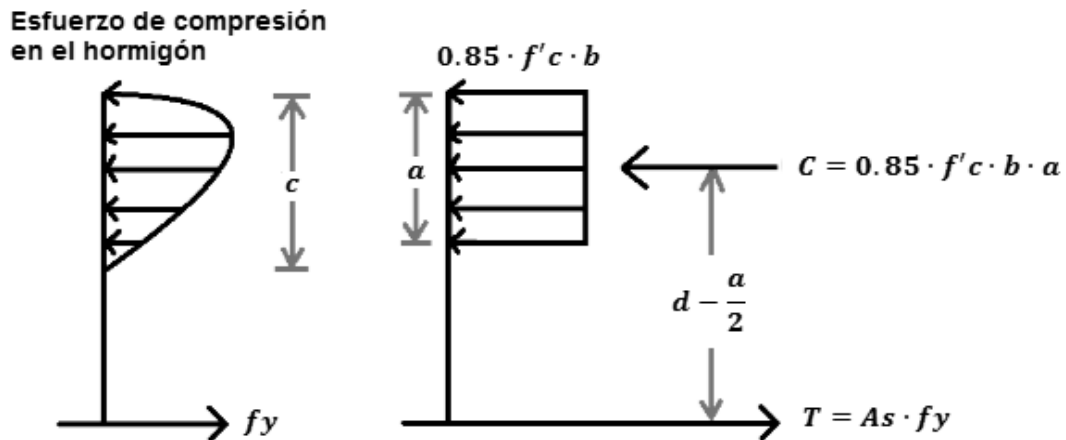


Ilustración 29. Diagramas de esfuerzos y fuerzas
Fuente: (García , 2015).

La resolución se obtiene variando la sección transversal de acero (A_s), hasta cumplir el criterio de resistencia última. Se verifica que cumpla la cuantía mínima y no sobrepasa la máxima.

4.2.1 Resultados obtenidos de cantidad de acero para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m

La tabla 22, muestra los resultados del cálculo de cantidad de acero por metro de ancho de losa, uniformizando así las diferentes geometrías de las soluciones.

Tabla 22. Cantidad de acero para losas de luz 4.20m

LOSA	ACERO (cm ² /m)	PORCENTAJE
Bovedilla de EPS	6.849	61.7%
Bovedilla de Cerámica	7.469	67.3%
Bovedilla de Mortero	7.593	68.4%
Con Bloque de 20x20x40	7.632	68.8%
Maciza	11.097	100.0%

Los resultados obtenidos reflejan que la propuesta con bovedilla de poliestireno expandido resulta como una de las más ventajosas respecto al resto de soluciones, confirmando que hay ahorro en el acero. La cantidad de acero considera además una malla electrosoldada para retracción y temperatura común para todos los casos de losa.

4.2.2 Resultados obtenidos de cantidad de acero para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m

Al cambiar la luz de apoyo, los resultados también verifican que la solución con bovedilla es la mejor por el ahorro de cantidad de acero. Y además, notando que las soluciones tradicionales tienen un alto consumo de acero.

Tabla 23. Cantidad de acero para losas de luz 3.60m

LOSA	ACERO (cm ² /m)	PORCENTAJE
Bovedilla de EPS	5.943	62.0%
Bovedilla de Cerámica	6.398	66.7%
Bovedilla de Mortero	6.488	67.7%
Maciza	9.5865	100.0%

4.3 Procedimiento de cálculo de deformaciones

Las deformaciones se calculan con cargas de servicio (ACI, 2014) y considera:

- **Deformaciones instantáneas (Δ_o)**

Ocurre inmediatamente después de aplicada la carga. Los términos como: la inercia y el módulo de elasticidad dependen del nivel de agrietamiento y resistencia del hormigón respectivamente.

$$\Delta_o = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{E_c I} \quad (\text{Nilson, 1999})$$

Donde:

q : Carga última de servicio

l : Luz

E_c : Módulo de elasticidad del concreto

I : Inercia según el nivel de agrietamiento

- **Deformaciones a largo plazo (Δ_{LT})**

Ocurre meses o años después de aplicada la carga. Depende tanto del tiempo como de la deformación instantánea.

$$\Delta_{LT} = \lambda_{\Delta} \cdot \Delta_o \quad (\text{ACI, 2014})$$

Donde:

λ_{Δ} : Coeficiente de deformación a largo plazo. Se comprobó para el 40% (ACI, 2014).

Tabla 24. Datos para cálculo de deformaciones.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
f'_c	kg/cm ²	210.00
E_c	kg/cm ²	219000
λ_Δ	-	1.4
n	-	9.1

En este caso, la inercia usada es la efectiva, ya que, el momento de agrietamiento es menor que el momento de servicio. Para los entrepisos y techos de hormigón armado se calcula varios límites de deformaciones según el reglamento (ACI, 2014).

4.3.1 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m

Por medio del cálculo estructural se muestran los resultados en la tabla 25, obtenidos en los tres casos. El caso 1, es más riguroso y cumple solamente la losa con bovedilla de EPS.

Tabla 25. Valores de deformaciones totales para 4.20m.

LOSA	Caso 1 ^[1] (cm)	Caso 2 ^[2] (cm)	Caso 3 ^[3] (cm)
Bovedilla de EPS	0.88	0.88	0.28
Bovedilla de Cerámica	1.04	1.04	0.25
Bovedilla de Mortero	1.06	1.06	0.24
Con Bloque de 20x20x40	0.97	0.97	0.24
Límite de la norma	0.88	1.75	1.17

^[1] Límite de deformación $l/480$, considera la suma de la deformación a largo plazo de las cargas permanentes, y la deflexión inmediata de la carga viva adicional (75%L).

^[2] Límite de deformación $l/240$ no se puede exceder, considera la suma de la deformación a largo plazo de las cargas permanentes, y la deflexión inmediata de la carga viva adicional (75%L).

^[3] Límite de deformación $l/360$, considera la deformación inmediata debida a L .

4.3.2 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m

En este caso, de igual manera el caso 1, que es el más riguroso cumple la losa con bovedilla de EPS.

Tabla 26. Valores de deformaciones totales para 3.60m.

LOSA	Caso 1 ^[1] (cm)	Caso 2 ^[2] (cm)	Caso 3 ^[3] (cm)
Bovedilla de EPS	0.70	0.70	0.23
Bovedilla de Cerámica	0.85	0.85	0.22
Bovedilla de Mortero	0.87	0.87	0.21
Maciza	0.04	0.04	0.01
Límite de la norma	0.75	1.50	1.00

4.3.3 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.25m y luz de 4.20m a través de la modelación por elementos finitos.

Los resultados obtenidos en el programa SAP2000 reflejan resultados similares a los obtenidos con el cálculo estructural.

Tabla 27. Valores de deformaciones para 4.20m de luz. Cálculo con SAP.

LOSA	Caso 1 ^[1] (cm)	Caso 2 ^[2] (cm)	Caso 3 ^[3] (cm)
Bovedilla de EPS	0.75	0.75	0.24
Bovedilla de Cerámica	0.90	0.90	0.22
Bovedilla de Mortero	0.92	0.92	0.21
Límite de la norma	0.88	1.75	1.17

4.3.4 Resultados obtenidos de deformaciones para losas de sección transversal constante, peralte 0.22m y luz de 3.60m a través de la modelación por elementos finitos.

Asimismo, las deformaciones admisibles se parecen a los resultados obtenidos con el cálculo estructural.

Tabla 28. Valores de deformaciones para 3.60m de luz. Cálculo con SAP

LOSA	Caso 1 ^[1] (cm)	Caso 2 ^[2] (cm)	Caso 3 ^[3] (cm)
Bovedilla de EPS	0.56	0.56	0.18
Bovedilla de Cerámica	0.72	0.72	0.18
Bovedilla de Mortero	0.74	0.74	0.18
Límite de la norma	0.75	1.50	1.00

Se puede apreciar la gráfica de la deformación con el programa, lo cual, ayuda a visualizar de mejor manera este fenómeno.

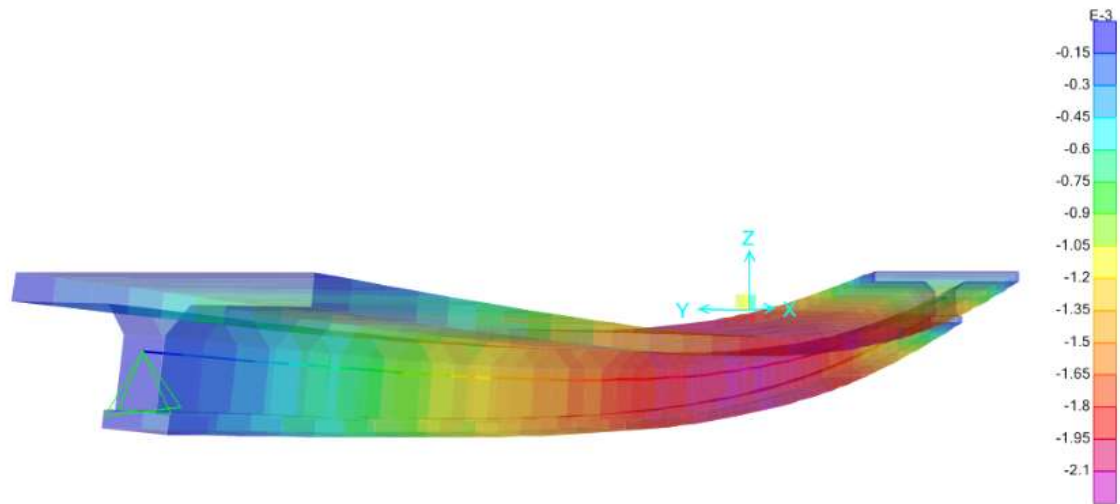


Ilustración 30. Deformación de la sección en estudio.

4.4 Proceso Constructivo

En el proceso constructivo de entresijos y techos de hormigón armado con viguetas y bovedillas de EPS, se puede considerar los siguientes pasos:

1. Colocación de las viguetas o acero de refuerzo de nervios.
2. Montaje de las bovedillas de EPS entre las viguetas.
3. Colocación de la malla electrosoldada.
4. Seguidamente hormigonado in situ.

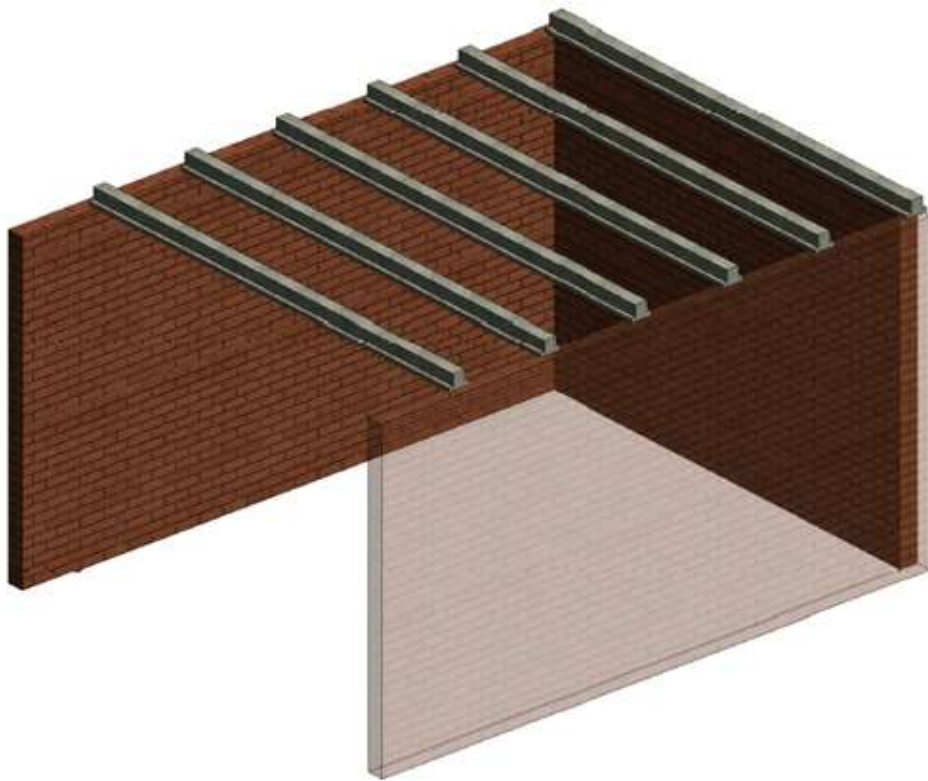


Ilustración 31. Esquema de montaje de Viguetas

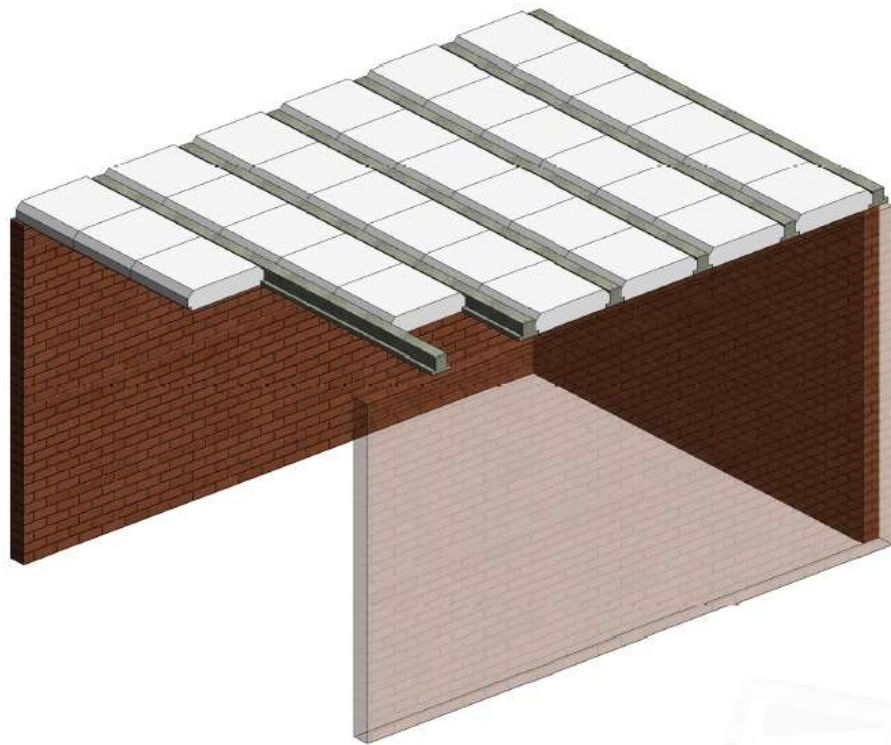


Ilustración 32. Esquema de montaje de Viguetas-Bovedillas de EPS

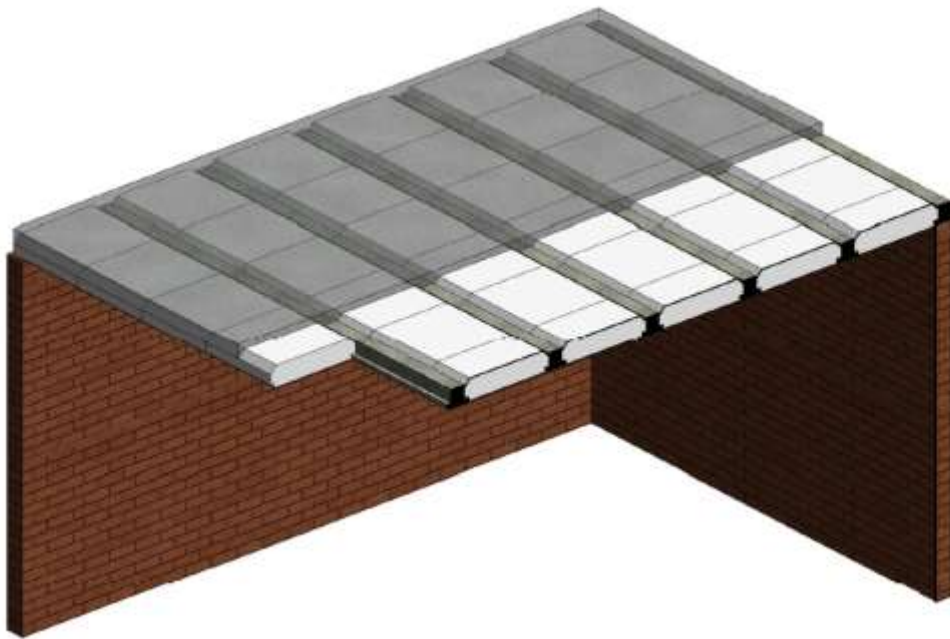


Ilustración 33. Esquema de montaje de viguetas-Bovedillas de EPS-Capa de Hormigón.

CONCLUSIONES

En correspondencia con los objetivos declarados se ha estudiado la solución estructural-constructiva para entresijos y techos integrando elementos de hormigón armado con bovedilla de EPS. Como referencia para comparar resultados se evaluaron soluciones de uso tradicional, como las losas de hormigón armado colocadas in situ y las aligeradas con bloques de pared de hormigón también con bovedillas de cerámica y de mortero aunque estas no se producen en nuestro medio.

En el análisis y diseño estructural las soluciones mencionadas presentan resultados muy satisfactorios para las bovedillas de EPS con respecto a las otras tomadas de referencia. En los entresijos y techos de hormigón armado el acero es uno de los materiales principales consiguiendo así, que en losas de poliestireno expandido sea menor el consumo. Ver en tabla 22 y 23 los porcentajes. A la vez disminuir el peso y el encofrado de la estructura. La solución más factible es la losa con bovedillas de poliestireno expandido, debido a que el resto de alternativas sobrepasan el peso deseado.

También en el campo de las deformaciones la bovedilla de EPS cumple con el reglamento para concreto estructural ACI 318S-14, incluso para las luces de 4.20 y 3.60 m solo cumple con las bovedillas de EPS, las otras soluciones pesan más lo que requerían más peralte y mayor consumo de material.

Además, el producto de EPS tiene ventajas inducidas entre las cuales se mencionan que: constituye un adecuado aislante térmico y acústico, disminuye desechos y escombros, aumenta productividad del trabajo, disminuye los plazos de ejecución, etc, todo esto por su ligereza. Además, el peso para la transportación, montaje, cargas en muros, cimienta, es menor.



RECOMENDACIONES

Se recomienda que los diseñadores estructurales hagan uso más extensivo de los productos EPS, como la aplicación de las bovedillas para techos y entrepisos en la vivienda social, asimismo en edificaciones.

Es conveniente investigar ventajas constructivas con elementos de EPS para usos dentro del sector de la construcción.

Este trabajo se analizó la bovedilla de poliestireno expandido pero, se complementa con estudios de diferentes tipos de viguetas, ya que los dos elementos son conjuntos pero como una solución constructiva integral.

Este ha sido un estudio general, en cada diseño particular con dimensiones, cargas de usos, etc, se harán las soluciones correspondientes. Se recomienda el uso del EPS por las ventajas demostradas.



BIBLIOGRAFÍA

- Aape. (Marzo de 2005). *Asociación Argentina de Poliestireno Expandido*. Recuperado el Julio de 2016, de Comportamiento al fuego del Poliestireno Expandido: www.aape.com.ar
- Achipex. (2016). *Asociación Chilena del Poliestireno Expandido*. Recuperado el Julio de 2016, de El poliestireno expandido y la reglamentación térmica en la construcción: www.achipexag.cl
- ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318RS-14)*. U.S.A.
- ACI 318RS-14. (2014). *Comentario a Requisitos de Reglamento para concreto estructural*. U.S.A.
- Anape. (2016). *Asociación Nacional de Poliestireno Expandido*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2016, de www.anape.es
- Andimat. (2008). *Asociación Nacional de Industrias de materiales Aislantes. Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS)*. Madrid.
- Antaac, e. a. (Noviembre de 2008). *Construcción de Techos Sistema vigueta y bovedilla*. Recuperado el Agosto de 2016, de www.antaac.org.mx
- Azqueta, P. E. (Abril de 2006). *Asociación Argentina del Poliestireno Expandido- Bloques de Poliestireno Expandido para Forjados*. Obtenido de <http://www.aape.com.ar/>
- Basf Plastics. (2016). *Informaciones Técnicas Styropor*. Recuperado el Mayo de 2016, de www.plasticsportal.net
- Bovedeco. (2016). *Aligeramientos sostenibles fabricados a base de poliestireno expandido reciclado*. Recuperado el Mayo de 2016, de www.poraxa.com
- Cofre Alvarado, A. (2003). *Bovedillas de EPS (Poliestireno Expandido): una alternativa para la construcción de losas prefabricadas*. Universidad Austral de Chile.
- EUMEPS. (2016). *European Manufacturers of Expanded Polystyrene*. Recuperado el Septiembre de 2016, de www.eumeps.construction
- Galindo Cabello, M. (2010). *Estudio de un sistema de bloques huecos de poliestireno para la construcción de viviendas*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.



- García, M. (26 de Marzo de 2015). *Construcción e Ingeniería Civil*. Recuperado el Junio de 2016, de construciviles.blogspot.com
- Grupo Estisol. (2016). *Soluciones innovadoras y sustentables*. Recuperado el Marzo de 2016, de grupoestisol.com
- Hernández, E. (2008). *Manual de Aplicación de Programa SAP2004 v14*. Csi Caribe.
- Ideal Alambrec. (2016). *Catálogo de productos*. Recuperado el Septiembre de 2016, de www.idealalambrec.com
- Imsale. (2015). *Avances en la construcción*. Recuperado el Enero de 2016, de imsale.wixsite.com/imsale
- Limachi, L. (2014). *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción*. Recuperado el Febrero de 2016, de www.sencico.gob.pe
- McCormac, J. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México D.F.: Alfaomega.
- Muzquiz, J. (Abril de 1945). *Revista de Obras Públicas: Forjado para pisos*. Recuperado el Febrero de 2016, de <http://ropdigital.ciccp.es/>
- Muzquiz, J. (Marzo de 1945). *Revistas de Obras Públicas: Forjado para pisos*. Recuperado el Febrero de 2016, de ropdigital.ciccp.es
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Cargas no sismicas*. Recuperado el Enero de 2016
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de Hormigón Armado*. Recuperado el Marzo de 2016
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m*. Recuperado el Febrero de 2016
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* (duodécima ed.). McGraw Hill.
- Pozuelo, J. (2106). *Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de Ciencia e Ingeniería de Materiales: ocw.uc3m.es
- Romo Proaño, M. (2008). *Temas de hormigón armado*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Sánchez de Guzman, D. (2000). *Tecnología y Propiedades*. Bogotá.
- Sosa Mena, I. (Junio de 2012). *Estudio de diferentes aplicaciones del Poliestireno Expandido, EPS, en la construcción de edificaciones en Cuba*. Instituto Superior Politécnico José antonio Echeverría, La Habana.



Stybenex. (2016). *Asociación de fabricantes de materiales de construcción de EPS*. Recuperado el Julio de 2016, de EPS en la Ingeniería Civil: stybenex.nl

Sumiseran, S. (1988). Obtenido de www.molduras.es

Utilbox SL. (1994). *Poliestireno Expandido*. Recuperado el Septiembre de 2016, de www.utilbox.es

Valfi. (2016). *Fábrica de Poliestireno Expandido*. Recuperado el Agosto de 2016, de www.valfi.com.ar

Vypsa. (2009). *Vigueta y Poliestireno*. Recuperado el 2016, de Ficha técnica de poliestireno: vypsa.mx

ANEXOS**- Centro Tecnológico de Balzay de la Universidad de Cuenca**

Ilustración 34. Apuntalamientos para entrepiso
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 35. Acero para conformar el entrepiso
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 36. Colocación de bloques de EPS
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 37. Distribución malla por retracción y temperatura
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 38. Hormigonado in situ del entrepiso
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 39. Culminación de hormigonada in situ
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP



Ilustración 40. Panorama final del entrepiso
Cortesía: Consorcio ESTAROM-UCuenca EP

- Fichas técnicas

LUZ MÁXIMA EN METROS PARA NERVIOS A 61cm										
TERMOLOSA TIPO		TC1014 (EPS e.: 10cm)			TC1520 (EPS e.: 15cm)			TC2025 (EPS e.: 20cm)		
Espesor total con topping de concreto de 5cm		Losa e= 13cm			Losa e= 20cm			Losa e= 25cm		
CONCRETO	NIVEL	Kg/m ²	kg/m	m	Kg/m ²	kg/m	m	Kg/m ²	kg/m	m
fc=210 Kg/cm ²	TECHO	314	196	4,60	341	208	5,6	361	220	6,7
fc=3000PSI	ENTREPISO	459	284	3,73	486	297	4,8	506	309	5,8
fc=250 Kg/cm ²	TECHO	314	196	4,90	341	2098	5,8	361	220	7
fc=3500PSI	ENTREPISO	459	284	4,00	486	297	4,9	506	309	5,9
ESPESOR EN cm		10			15			20		
Espesor concreto cm		4			5			5		
Espesor total cm		14			20			25		
Volumen de concreto requerido m ³ por 100m ² de losa		4,22			6,31			7,12		

CARGA DE CÁLCULO PARA TECHOS			
TERMOLOSA TIPO	TC1014 (EPS e.: 10cm)	TC1520 (EPS e.: 15cm)	TC2025 (EPS e.: 20cm)
<i>Peso propio del concreto</i>	124 Kg/m ²	151 Kg/m ²	171 Kg/m ²
<i>Impermeabilización</i>	60 Kg/m ²	60 Kg/m ²	60 Kg/m ²
<i>Friso del techo</i>	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²
<i>Carga viva</i>	100 Kg/m ²	100 Kg/m ²	100 Kg/m ²
TOTA CARGA DE CALCULO	314 Kg/m²	341 Kg/m²	361 Kg/m²
CARGA DE CÁLCULO PARA ENTREPIOS			
TERMOLOSA TIPO	TC1014 (EPS e.: 10cm)	TC1520 (EPS e.: 15cm)	TC2025 (EPS e.: 20cm)
<i>Peso propio del concreto</i>	124 Kg/m ²	151 Kg/m ²	171 Kg/m ²
<i>Tabiques por normas</i>	100 Kg/m ²	100 Kg/m ²	100 Kg/m ²
<i>Acabados de pisos</i>	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²
<i>Frisos de techo</i>	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²	30 Kg/m ²
<i>Carga viva</i>	175 Kg/m ²	175 Kg/m ²	175 Kg/m ²
TOTA CARGA DE CALCULO	459 Kg/m²	486 Kg/m²	506 Kg/m²

Ilustración 41. Sistema para entrepisos y techos
Fuente: Grupo Isotex

ARMEX® Tradicional				
Tipo		Diámetro (mm)	Separación (cm)	Peso (kg / plancha)
R	126	4	10	29,48
R	196	5	10	46,06
R	238	5,5	10	55,73
R	283	6	10	66,32
R*	385	7	10	90,27
R*	636	9	10	149,22
R	64	3,5	15	15,17
R	84	4	15	19,81
R	106	4,5	15	25,07
R	131	5	15	30,95
R	158	5,5	15	37,45
R	188	6	15	44,57
R	257	7	15	60,66
R	335	8	15	79,23
R*	424	9	15	100,28
R*	524	10	15	123,80
R	53	4,5	30	12,54

Ilustración 42. Valores para mallas electrosoldadas
Fuente: (Ideal Alambrec, 2016)

Tabla 29. Bovedillas de Cerámica
Fuente: www.bovedilla.es

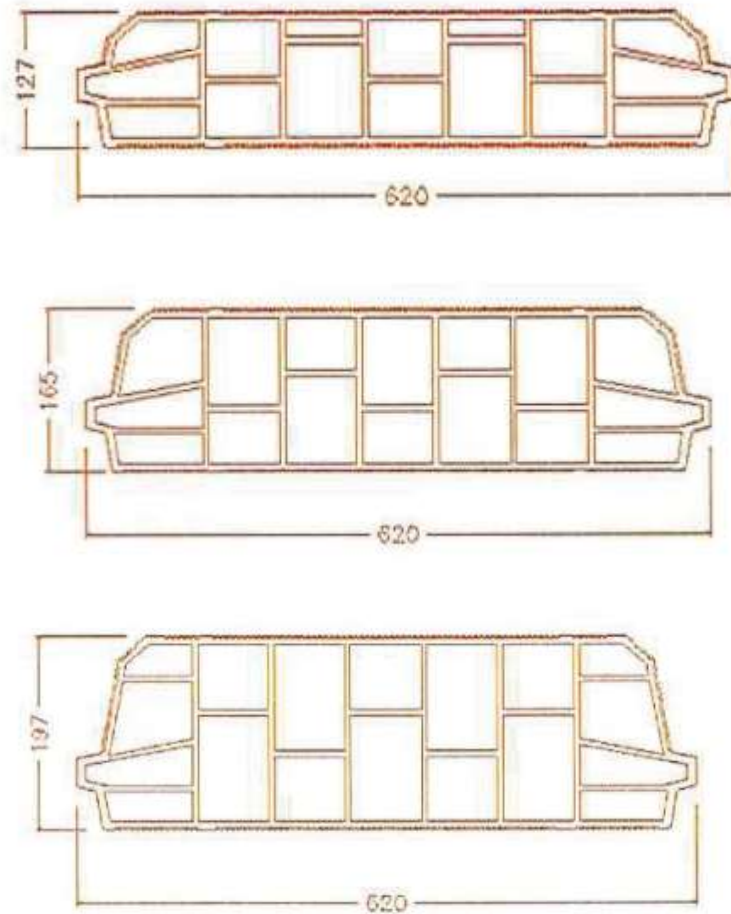


Tabla 30. Ejemplo de cálculo estructural.

DATOS		CARGAS	
L	4.20 m	Viva	240 kg/m ²
f _c	210 kg/cm ²	Muerta no estructural	100 kg/m ²
f _y	4200 kg/cm ²	Muerta peso propio	250.25 kg/m ²

FUERZAS INTERIORES	
q _u	579.09 kg/m
M _u	1276.90 kg.m
V _u	1216.10 kg

BOVEDILLA DE POLIESTIRENO						
phi	as (cm ²)	d (cm)	a (cm)	mn (kg.m)	mu (kg.m)	cuantía
8	0.50	20.6	0.16	433.16	389.85	0.002
10	0.79	20.5	0.26	671.99	604.80	0.004
12	1.13	20.4	0.37	960.24	864.22	0.006
14	1.54	20.3	0.50	1296.21	1166.59	0.008
16	2.01	20.2	0.66	1678.07	1510.26	0.010
18	2.54	20.1	0.83	2103.79	1893.41	0.013
20	3.14	20.0	1.03	2571.21	2314.08	0.016
25	4.91	19.7	1.60	3906.44	3515.79	0.025

As/m 6.849